

DOI: 10.7667/PSPC161595

## 智能变电站继电保护运维防误技术研究及应用

李鹏<sup>1</sup>, 卫星<sup>2</sup>, 郭利军<sup>2</sup>, 张巧霞<sup>2</sup>, 陈哲<sup>2</sup>, 李永照<sup>2</sup>

(1. 国网辽宁省电力有限公司朝阳供电公司, 辽宁 朝阳 122000; 2. 许继电气股份有限公司, 河南 许昌 461000)

**摘要:** 针对智能变电站继电保护运维操作需求及运维误操作的原因, 提出了一种继电保护运维智能防误方法。该方法以主动式综合防误技术为基础, 融合一次设备和二次设备的运行状态, 建立覆盖变电站所有设备控制操作的主动安全机制, 强制闭锁未通过防误规则判断的任一控制操作。以硬压板误投补救技术为补充, 建立实时监视硬压板状态变化的风险预判体系, 采取补救措施有效切除引起风险的因素。以装置检修隔离安措防误技术为辅助, 实现装置检修一键隔离, 并充分保障安全性和可靠性。采用装置就地操作防误技术, 建立装置就地操作与监控后台综合交互防误机制, 实现装置就地与监控后台操作防误的一致性。该方法在现场的应用取得了良好的防误效果, 对继电保护运维有积极的作用。

**关键词:** 继电保护运维; 主动式综合防误; 硬压板误投补救; 安措检修; 装置就地操作防误

### Study and application of relay protection maintenance anti-misoperation technology in smart substation

LI Peng<sup>1</sup>, WEI Xing<sup>2</sup>, GUO Lijun<sup>2</sup>, ZHANG Qiaoxia<sup>2</sup>, CHEN Zhe<sup>2</sup>, LI Yongzhao<sup>2</sup>

(1. Chaoyang Power Supply Company, State Grid Liaoning Electric Power Limited Company, Chaoyang 122000, China;

2. XJ Electric Co., Ltd., Xuchang 461000, China)

**Abstract:** Aiming at the smart substation relay protection maintenance demand and the reason of misoperation, a smart anti-misoperation method of relay protection maintenance is proposed. The method takes active combining anti-misoperation technology as a basis, which combines the running state of primary equipment and secondary equipment to build the active safety mechanism which covers all device operations of the substation, and rejects any operation which can't pass the anti-misoperation rules. It takes hard strap misoperate remediation technology as a supplement, which builds the risk warning system to monitor the state of hard straps by real time, and starts remediation measures to remove the risk factor. It takes safety measures maintenance technology as an auxiliary, which isolates the maintenance device through one button with high security and reliability. It takes device local anti-misoperation technology to build interactive anti-misoperation mechanism between the local device operation and monitoring system, which makes the anti-misoperation consistency come true. This method obtains good effects in smart substation, which is helpful to relay protection maintenance.

**Key words:** relay protection maintenance; active combining anti-misoperation; hard strap misoperate remediation; safety measures maintenance; device local anti-misoperation

## 0 引言

智能变电站继电保护运维过程中, 运维人员的误操作会给变电站正常运行带来安全隐患, 甚至可能造成设备损坏、人身伤亡或电网瓦解的严重事故。智能变电站作为输配电系统中的一个关键环节, 对整个电网的正常运行有重要影响。因而研究智能变电站继电保护运维防误技术, 对变电站及电网的安

全运行具有十分重要的意义。

目前智能变电站已经建立了一次设备的五防闭锁规则, 实现了一次设备防误操作的五防功能<sup>[1]</sup>。但是一次设备的操作防误规则仅以变电站一次系统模型及一次设备状态为基础, 并未考虑相关二次设备的模型及状态, 没有体现二次设备对一次设备的保护功能<sup>[2]</sup>, 可能造成一次设备在二次设备保护功能缺失的情况下带电运行。智能变电站继电保护二

次回路用光纤组网代替了电缆连接，在装置虚拟二次回路中存在 SV 接收软压板、跳合闸出口软压板、GOOSE 发送/接收软压板等软压板<sup>[3]</sup>。软压板投入时装置才能正常接收和发送通道数据，虚回路软压板的误操作将会导致保护功能不正常投入或退出；而虚回路软压板数量众多、不直观、无明显电气断点，容易引起漏投退和误投退等误操作，导致继电保护设备运行异常。继电保护设备检修时需将其从系统中有效隔离，误投检修压板可能导致运行装置的功能闭锁。装置就地操作时，由于相似间隔的装置具有相似的模型和外观，容易造成装置的误操作。

针对智能变电站现有防误机制的不足及继电保护运维误操作的原因，本文对主动式综合防误技术、硬压板误投补救技术、装置检修隔离安措防误技术和装置就地操作防误技术等继电保护运维防误技术进行了研究，以期总结的部分方法可以为智能变电站运维防误带来借鉴意义。

### 1 主动式综合防误

主动式综合防误即综合变电站一次设备及二次设备的运行状态，建立设备操作综合防误规则，变电站内任一设备的控制操作必须经过综合防误逻辑判断后才能出口，强制闭锁不满足综合防误规则的控制操作，从源头上杜绝可能引起系统风险的误操作，实现涵盖变电站运行、操作和检修等各个环节的主动安全防误。主动式综合防误整体框架如图 1 所示。

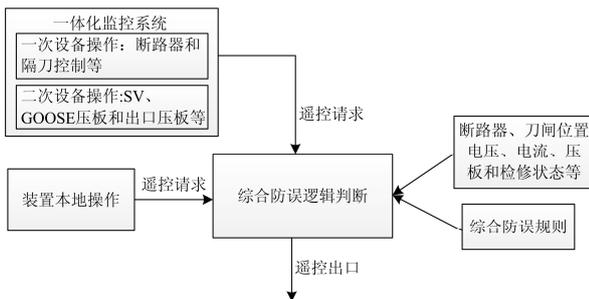


图 1 主动式综合防误整体框架

Fig. 1 Framework of active combining anti-misoperation

#### 1.1 主动式综合防误技术实现

主动式综合防误技术具有如下防误特点。

1) 操作源覆盖一体化监控系统及装置本地：即无论从一体化监控系统或装置本地发起操作，均需经过综合防误逻辑判断。

2) 操作范围覆盖断路器、隔离开关等一次设备和保护、测控等二次设备：即对变电站内具备遥控操作条件的所有对象，如断路器、隔离开关和装置软压板等，均可建立综合防误规则，遥控操作时均

需经过综合防误逻辑判断。

3) 防误规则综合一、二次设备工况，兼容传统一次设备五防功能。

主动式综合防误技术的关键是综合防误规则，建立综合防误规则时应遵循如下防误原则：

1) 操作须符合设备本身防误规则，操作后设备本身状态正常，否则闭锁操作。

2) 预判设备操作后的目标状态，须使一次设备和二次设备的运行状态相匹配，否则闭锁操作。操作一次设备时，二次设备当前运行状态必须与一次设备操作后的目标状态相匹配，否则闭锁操作；操作二次设备时，二次设备操作后的目标状态必须与一次设备当前运行状态相匹配，否则闭锁操作。

主动式综合防误规则按设备类型分为一次设备防误规则与二次设备防误规则。

一次设备操作防误规则组成：

1) 一次设备五防逻辑判断，如合线路开关时，两侧隔离刀应为合位，地刀应为分位。

2) 二次设备工况判断，如合线路开关时，线路保护装置保护功能应处于正常运行状态，即线路间隔内保护装置、合并单元和智能终端的检修压板应为退出状态，且保护装置 SV 接收软压板、GOOSE 接收/发送软压板和保护功能软压板应为投入状态，保证一次设备带电运行时必须有二次设备的保护。

二次设备操作防误规则组成：

1) 二次设备防误逻辑判断，如投退保护软压板时，须符合保护软压板投退规则<sup>[4]</sup>，即保护投入时软压板投入顺序为：投 GOOSE 接收软压板/SV 接收软压板->保护功能软压板->GOOSE 发送软压板；保护退出时软压板退出顺序为：退 GOOSE 发送软压板->保护功能软压板->GOOSE 接收软压板/SV 接收软压板。

2) 一次设备工况判断，如退出线路保护装置功能压板时线路开关应为分位，避免一次设备在失去二次设备保护时继续带电运行。

#### 1.2 主动式综合防误技术应用

母线保护等跨间隔保护中单间隔检修时，需要退出相应间隔的 SV 接收压板，以隔离检修间隔，避免检修间隔的试验用电压参与运行装置保护逻辑判断而造成保护误动或拒动<sup>[5]</sup>。母线保护 SV 接收压板较多，当退出检修间隔的 SV 接收压板时，有可能误退出正在运行间隔的 SV 接收压板，导致差动保护误动作。

主动式综合防误技术应用如图 2 所示。线路 1 停电检修，线路 2 与线路 3 正常运行，运维人员在退出母线保护中线路 1SV 接收压板时，误退出线路

2SV 接收压板。应用主动式综合防误技术, 经综合防误规则判断, 由于线路 2 间隔合位有流且母线保护装置正常运行, 不具备“退出线路 2SV 接收压板”的操作条件, 故主动闭锁此操作, 实现退出母线保护运行间隔 SV 接收软压板误操作的有效闭锁, 避免因此引起的母线保护误动作<sup>[6]</sup>。

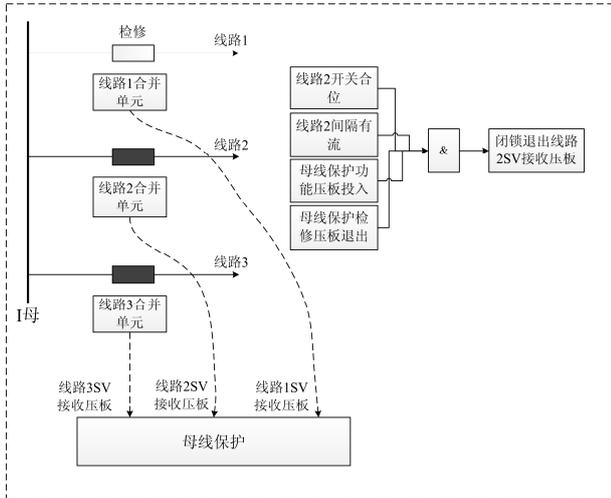


图2 主动式综合防误技术应用

Fig. 2 Application of active combining anti-misoperation technology

## 2 硬压板误投补救

硬压板具有不能遥控投退, 只能人工手动操作的特点, 故无法通过主动式防误强制闭锁的方式实现硬压板投退的防误操作。装置检修压板是硬压板, 检修压板的投退对装置本身及有逻辑关系的其他装置的运行都有很大的影响<sup>[7]</sup>, 而误投检修压板可能导致保护闭锁, 从而引起保护拒动扩大事故范围的严重后果。所以实时监控硬压板状态变化, 并在分析判定硬压板误投入后采取相应的补救措施就显得尤为重要。

### 2.1 装置检修机制

合并单元、智能终端和保护装置等设备检修时需要投入检修压板。检修压板投入后, 装置处于检修状态, 装置面板检修灯亮; 装置发送的报文置检修态, 即报文中数据品质  $q$  的  $test$  位置为  $true$ ; 装置仅能正常处理接收到的置检修态的报文, 即装置将接收到的报文中数据品质  $q$  的  $test$  位与自身的检修压板状态进行比较, 只有两者一致时才正常处理该数据, 否则装置发异常告警信号并闭锁相应功能。装置检修处理机制如图 3 所示。

### 2.2 检修压板误投补救技术

3/2 接线的线路保护, 中断路器 CT 和边断路器 CT 经不同合并单元接入保护, 当单个 CT 或开关检

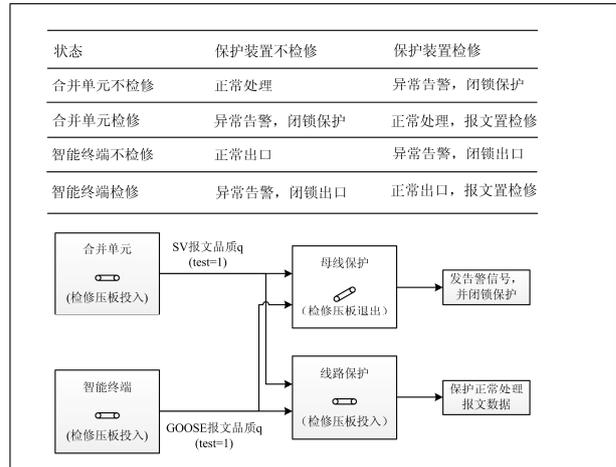


图3 装置检修处理机制

Fig. 3 Deal mechanism of device maintenance

修时, 需要退出相应间隔 SV 接收压板, 以防止线路保护功能闭锁。

检修压板误投事故如图 4 所示。事故具体过程及原因分析如下。

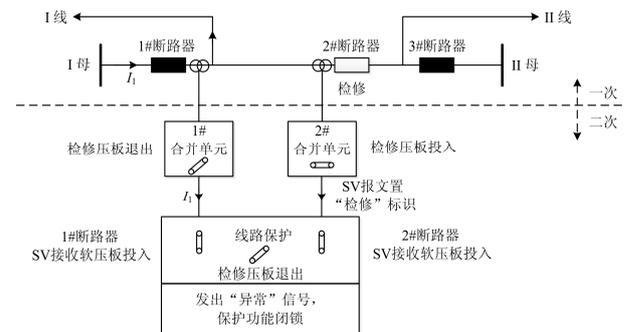


图4 检修压板误投事故

Fig. 4 Fault of maintenance strap misoperation

1) 母线接线方式为 3/2 接线, I 线线路保护装置分别经 1# 合并单元及 2# 合并单元, 对 1# 断路器间隔及 2# 断路器间隔的电气数据进行采样; 1# 合并单元及 2# 合并单元正常运行, I 线线路保护装置检修压板退出且 1# 断路器 SV 接收软压板及 2# 断路器 SV 接收软压板均为投入状态, 保护装置正常接收采样数据参与保护逻辑运算。

2) 2# 断路器间隔检修, 断开 2# 断路器, 1# 断路器保持合位, I 线经 I 母与 1# 断路器正常带电运行。

3) 投 2# 合并单元检修压板, 其发送的 SV 报文置检修态; 2# 断路器 SV 接收软压板保持投入状态, I 线线路保护装置接收到检修态报文而本身未置检修, 引起装置异常及保护功能闭锁。

4) I 线发生接地故障, I 线保护拒动, 导致全站停电。

针对上述事故原因，在监测到装置检修压板投入时，立即启动硬压板投入风险判断机制，并在判定风险后采取相应的补救措施，防止硬压板误投引起装置保护功能闭锁，避免一次系统带电运行时失去二次保护。检修压板误投补救机制如图 5 所示。

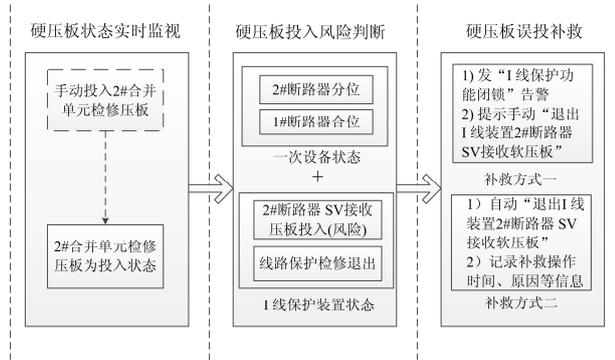


图 5 检修压板误投补救机制

Fig. 5 Remedy mechanism of maintenance strap misoperation

检修压板误投补救机制分为硬压板状态实时监视、硬压板投入风险判断及硬压板误投补救 3 个阶段，具体如下。

1) 硬压板状态实时监视：定时周期读取检修压板状态，当检修压板为投入状态或接收到检修压板投入的变位信号时，立即启动硬压板投入风险判断。

2) 硬压板投入风险判断：风险判断的原则是判断当前二次设备的状态能否满足一次设备的运行需要，若不能满足即判断存在风险；根据这一原则制定硬压板投入风险判断规则，综合一次设备和二次设备的运行参数，判断当前状态有无风险，若存在风险立即启动补救措施。

3) 硬压板误投补救：补救措施的原则是通过改变二次设备的状态，使其满足一次设备正常运行的需要；补救方式分为两种，一种为产生风险告警信号并给出手动操作指导意见，另一种为自动下发遥控命令调整二次设备的状态并生成详细的操作记录。

### 3 装置检修隔离安措防误

继电保护装置在检修时需要从系统中有效隔离，以防止检修装置误发信号造成其他运行装置的误动，或因检修装置发送的报文置检修态而造成其他运行装置的功能闭锁<sup>[8]</sup>。

#### 3.1 装置检修误操作分析

智能变电站继电保护二次回路用光纤组网代替了电缆连接，装置无物理端子和物理连线，装置间传输的信息都隐没在光纤中，装置二次回路变得虚

拟化。在装置虚拟二次回路中存在 SV 接收软压板、跳合闸出口软压板、GOOSE 发送/接收软压板及保护功能软压板等多种软压板，装置正常运行时二次回路软压板处于投入状态。装置检修时需要退出虚回路软压板并投入检修压板，由于压板个数多且有严格的操作顺序，增加了检修隔离的复杂性和不确定性，很容易引起漏投退和顺序错误等误操作<sup>[9-10]</sup>。

#### 3.2 装置检修隔离安措防误技术

装置检修隔离安措防误，即根据装置检修隔离原则定制安措任务操作步骤，采用虚拟二次回路可视化技术，实时展示虚回路软压板状态及装置状态，装置检修隔离一键执行，且安措操作过程可视。采用装置检修隔离安措防误技术，运维人员无需了解装置检修的操作细节，可有效防止误操作，提高装置检修效率，并充分保证装置检修的安全性和可靠性<sup>[11]</sup>。装置检修隔离安措防误架构如图 6 所示。

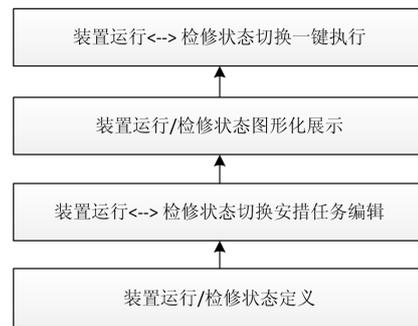


图 6 装置检修隔离安措防误架构

Fig. 6 Safety measures anti-misoperation framework of device maintenance isolation

装置检修隔离安措防误架构共分为 4 个层次。

1) 第一层为装置运行/检修状态定义层。通过装置二次回路软压板、保护功能压板及检修压板的组合，定义装置运行态及检修态。使用装置状态配置工具创建装置状态信息<sup>[12]</sup>，装置状态配置工具如图 7 所示。

2) 第二层为装置运行<->检修状态切换安措任务编辑层。完成装置运行态至检修态及检修态至运行态切换的安措任务编辑，安措任务编辑时应遵循以下原则：装置运行至检修时，① 隔离检修装置与跨间隔保护装置的联系，② 隔离检修装置与间隔内保护装置、合并单元和智能终端之间的联系，③ 投入检修装置的检修压板；装置检修至运行时，① 退出检修装置的检修压板，② 恢复检修装置与间隔内保护装置、合并单元和智能终端之间的联系，③ 恢复检修装置与跨间隔保护装置的联系。安措任务的任务项分为两种类型：一是自动遥控类，主要为装

置软压板的投退, 二是手动操作类, 主要是装置检修压板的投退。



图7 装置状态信息配置工具

Fig. 7 Config tool of device state information

3) 第三层为装置运行/检修状态图形化展示层。采用虚拟二次回路可视化技术<sup>[13-14]</sup>, 图形化展示装置二次回路软压板及检修压板的实时状态, 并在此基础上, 根据装置运行态/检修态的定义, 实时显示装置当前的状态, 如图8所示。

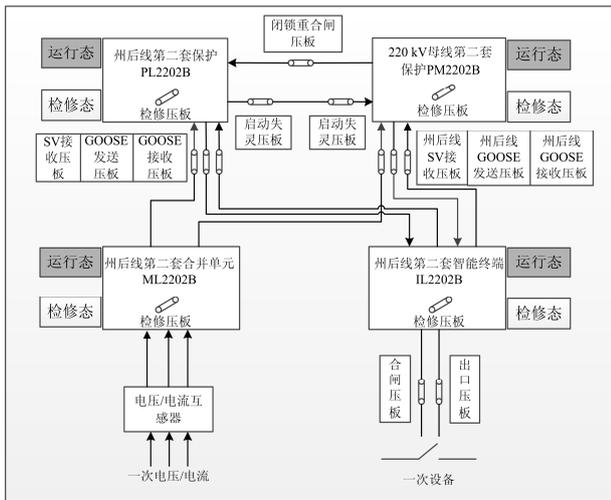


图8 装置状态与安措过程展示

Fig. 8 Show of device state and safety measures process

4) 第四层为装置运行<-->检修状态切换一键执行层。某装置检修时, 点击图形界面中“检修态”按钮, 即可一键执行装置检修安措任务, 且安措过程可视。

### 4 装置就地操作防误

装置就地操作防误用于防止运维人员装置就地误发控制操作命令, 并实现装置就地防误与监控后台主动安全防误的一致性。

### 4.1 装置就地误操作分析

装置就地误操作一般有以下原因:

- 1) 相似间隔的装置具有相同的面板, 导致运维人员误入其他间隔。
- 2) 装置内同类型的操作对象一般具有相似的名称, 导致误操作装置内相似对象。
- 3) 装置采集数据有限, 就地防误规则不完善, 导致误操作不具备操作条件的对象。

### 4.2 装置就地操作防误技术

针对上述误操作原因, 构建装置就地操作3层防误体系, 达到“操作正确的装置+操作装置内正确的对象+操作装置内具备操作条件的对象”的防误效果, 实现装置就地操作全方位立体式防误<sup>[15]</sup>。装置就地操作防误体系如图9所示。

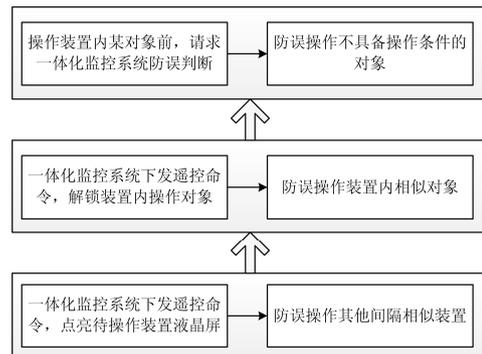


图9 装置就地操作防误体系

Fig. 9 System of device local anti-misoperation

装置就地操作防误体系分为3个层次:

- 1) 运维人员就地操作装置前, 需先从一体化监控系统下发遥控命令, 点亮待操作装置的液晶屏, 而其他装置的液晶屏处于“黑屏”状态, 这样可有效识别待操作装置, 达到防误操作其他装置的目的。
- 2) 运维人员就地操作装置内某对象前, 需先从一体化监控系统下发遥控命令, 解锁待操作对象, 而装置内其他对象处于“闭锁”状态, 这样可达到防误操作装置内相似对象的目的。
- 3) 运维人员在就地操作装置内某对象时, 自动向一体化监控系统发送此对象的操作请求报告, 一体化监控系统接收并解析此报告, 根据综合防误规则判断此操作是否允许, 并向装置发送判断结果; 若结果为允许方可继续进行, 否则强制闭锁。一体化监控系统生成操作报告文件, 记录操作源、操作对象、操作时间、防误闭锁结果及闭锁原因等信息。

为实现装置就地操作防误体系, 需扩展装置模型, 如图10所示。

信息	属性名	属性类型	中文含义
控制信息	ScrnLig	SPC	点亮屏幕
	OpUnlock	SPC	操作解锁
状态信息	ScrnSta	SPS	屏幕状态
	LockSta	SPS	闭锁状态
	OpenRqt	SPS	控分允许
	CloseRqt	SPS	控合允许

图 10 装置扩展模型

Fig. 10 Extended model of device

## 5 防误规则库

防误规则是实现防误技术的基础，需创建防误规则库来存储防误规则。

防误规则库分为主动式综合防误规则库及硬压板误投补救规则库两类，而主动式综合防误规则库又可以分为设备操作防误规则库及综合防误规则库，防误规则库分类如图 11 所示。

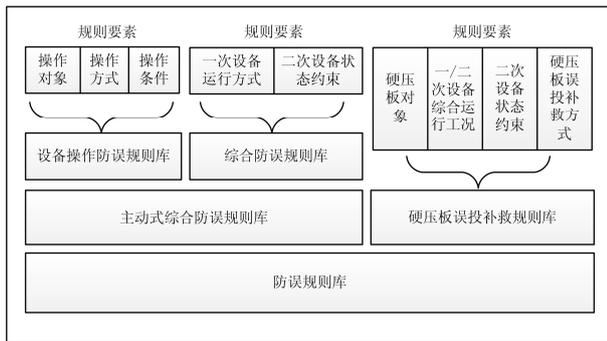


图 11 防误规则库分类

Fig. 11 Types of anti-misoperation rule database

1) 设备操作防误规则库：用于定义及存储设备操作防误规则，包括一次设备操作防误规则及二次设备操作防误规则，防误规则主要包含操作对象、操作方式和操作条件等信息。操作对象指变电站内可遥控操作的设备唯一标识，一般为设备名称；操作方式指设备的控制方式，主要分为控分(退出)与控合(投入)两种；操作条件指设备操作必须满足的条件，是由相关设备状态组成的逻辑表达式，只有此逻辑表达式成立时方可操作，否则闭锁操作。

2) 综合防误规则库：用于定义及存储融合一、二次设备的综合防误规则，防误规则主要包含一次设备运行方式和二次设备状态约束等信息。一次设备运行方式指一次设备的典型运行状态，如运行、热备、冷备及检修等，是由一组相关一次设备状态组成的逻辑表达式；二次设备状态约束指当前定义的一次设备运行方式下，二次设备必须具备的状态，是由一组相关二次设备状态组成的逻辑表达式。

3) 硬压板误投补救规则库：用于定义及存储硬压板误投补救规则，补救规则主要包含硬压板对象、一/二次设备综合运行工况、二次设备状态约束和硬压板误投补救方式等信息。硬压板对象指需要实时监控其状态的硬压板，一般为硬压板状态索引号；一/二次设备综合运行工况指由一次设备状态及二次设备状态组成的综合运行状态，是由一组相关一、二次设备状态组成的逻辑表达式；二次设备状态约束指此硬压板在当前定义的综合运行工况下，二次设备必须具备的状态，若二次设备不满足此状态即判断存在风险，并根据此状态生成补救措施；硬压板误投补救方式指判定存在风险时以何种方式补救，分为手动及自动两种方式。

## 6 总结

本文结合智能变电站继电保护运维防误现状，通过深入分析智能变电站在运维过程中出现的各种误操作及其原因，提出了主动式综合防误技术、硬压板误投补救技术、装置检修隔离安措防误技术和装置就地操作防误技术等变电站继电保护运维防误技术，提升了现有一次设备的防误效果，健全了二次设备的防误机制，实现了覆盖变电站一二次设备，涵盖变电站运行、操作和检修等各个环节的综合防误体系，在智能变电站的实际应用过程中，取得了良好的防误效果。

## 参考文献

- [1] 高新华, 周克林, 余南华, 等. 数字化变电站在线防误操作系统技术综述[J]. 南方电网技术, 2011, 5(2): 81-84.  
GAO Xinhua, ZHOU Kelin, YU Nanhua, et al. Survey on the technology of online anti-maloperation system in digital substations[J]. Southern Power System Technology, 2011, 5(2): 81-84.
- [2] 叶雷, 殷自力. 考虑二次设备的智能防误操作票系统[J]. 电力系统及其自动化学报, 2011, 23(6): 145-149.  
YE Lei, YIN Zili. Intelligent anti-misoperation operation ticket system consider secondary device[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2011, 23(6): 145-149.
- [3] 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.
- [4] 杨威, 王进虎, 王娜. 新一代智能变电站检修机制测

- 试技术[J]. 智能电网, 2016, 4(2): 209-212.  
YANG Wei, WANG Jinhua, WANG Na. Testing technology of maintenance mechanism for the new generation of intelligent substation[J]. Smart Grid, 2016, 4(2): 209-212.
- [5] 黄少雄, 胡世骏, 黄太贵, 等. 智能站软压板状态正确性校验的研究[J]. 电网与清洁能源, 2016, 32(6): 95-100.  
HUANG Shaoxiong, HU Shijun, HUANG Taigui, et al. Study on the actual settings of the soft jumps in a smart substation[J]. Power System and Clean Energy, 2016, 32(6): 95-100.
- [6] 赵曙伟. 变压器差动保护的整定及其校验[J]. 陕西电力, 2016, 44(11): 98-102.  
ZHAO Shuwei. Setting and Calibration of differential protection for transformer[J]. Shaanxi Electric Power, 2016, 44(11): 98-102.
- [7] 于伟城, 白瑞, 郝伟. 智能变电站二次设备检修处理机制分析探讨[J]. 山西电力, 2012(5): 21-23.  
YU Weicheng, BAI Rui, HAO Wei. Analysis on maintenance mechanism of secondary equipments in smart substation[J]. Shanxi Electric Power, 2012(5): 21-23
- [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] 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] 戴志辉, 张天宇, 刘譞, 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 Xuan, et al. Research on smart substation protection system reliability for condition-based maintenance[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(16): 14-21.
- [11] 笃峻, 叶翔, 葛立青, 等. 智能变电站继电保护在线运维系统关键技术的研究及实现[J]. 电力自动化设备, 2016, 36(7): 163-168.  
DU Jun, YE Xiang, GE Liqing, et al. Key technologies of online maintenance system for relay protections in smart substation and its implementation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2016, 36(7): 163-168.
- [12] 李晓博, 刘茜. 火电厂现场总线设备组态标准化研究[J]. 热力发电, 2016, 45(12): 62-66.  
LI Xiaobo, LIU Xi. Configuration normalization of fieldbus device for thermal plants[J]. Thermal Power Generation, 2016, 45(12): 62-66.
- [13] 秦红霞, 武芳瑛, 彭世宽, 等. 智能电网二次设备运维新技术研讨[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(22): 35-40.  
QIN Hongxia, WU Fangying, PENG Shikuan, et al. New technology research on secondary equipment operation maintenance for smart grid[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(22): 35-40.
- [14] 胡道徐, 沃建栋. 基于 IEC 61850 的智能变电站虚回路体系[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(17): 78-82.  
HU Daoxu, WO Jiandong. Virtual circuit system of smart substations based on IEC 61850[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(17): 78-82.
- [15] 汪溢, 黄曙, 马凯. 继电保护在线校核技术研究[J]. 热力发电, 2016, 45(8): 87-93.  
WANG Yi, HUANG Shu, MA Kai. Relay protection online verifying technology[J]. Thermal Power Generation, 2016, 45(8): 87-93.

收稿日期: 2016-09-23; 修回日期: 2017-01-20

作者简介:

李 鹏(1979—), 男, 工学博士, 高级工程师, 研究方向为电力系统自动化; E-mail: 16130759@qq.com

卫 星(1987—), 男, 通信作者, 本科, 工程师, 研究方向为电力系统自动化产品研发; E-mail: 394969339@qq.com

郭利军(1983—), 男, 硕士研究生, 工程师, 研究方向为电力系统自动化产品研发。E-mail: xjtc\_guolijun@126.com

(编辑 周金梅)