

[数字化]

基于二次回路全域数字化的变电站运维检修安措智能导引技术研究

文/贺路航¹ 谷 豪¹ 聂 晶¹ 许海锋¹ 毛玉荣²

1. 国网河南省电力公司直流中心; 2. 武汉凯默电气有限公司

数字电网将成为承载新型电力系统的最佳形态,随着变电站规模增大、复杂度增高,变电站二次设备运维检修依靠人工制定安全措施和作业步骤,安全保障和设备缺陷处理能力有限。提出一种基于二次回路全域数字化的变电站运维检修安措智能导引技术。通过实例测试应用验证所提方案的有效性。

在我国推进碳达峰、碳中和的大背景下,数字电网将成为承载新型电力系统的最佳形态,作为能源流、信息流汇聚节点的智能变电站已成为数字电网的重要支点。智能变电站安全可靠运行是新型电力系统建设的重要保障。随着电网中变电站规模增大、复杂度增高,变电站运维技术面临挑战。变电站二次电缆回路采用CAD图样,与运维人员交互困难;缺乏模型化的二次回路文件,二次设备检修作业依靠人工制定安全措施和作业步骤,安全保障和设备缺陷处理能力有限;现场执行安措时,二次屏柜众多,屏内回路标签密集,操作对象查找困难。

针对智能变电站运维工作面临的问题,已有部分专家学者开展相关研究。但基于二次回路全域数字化自动生成运维检修安措策略,以及现场安措执行智能指引等相关技术鲜有研究。文章研究二次回路模型化技术,设计适用不同场景的二次回路模型化框架,实现二次回路全域数字化。基于建立的二次回路模型和运维检修安措原则机器化描述,实现二次设备运维检修安措隔离策略的自动生成。基于二次回路模型生成虚拟电气二次图样,在虚拟电气二次图样上实现安措对象与安措操作的智能引导。最后通过现场实施验证了所提方案的可行性。

二次回路模型化技术

电网公司提出全力建设数字电网,构建物理电网建设、生产和管理全过程数字模型。目前变电站二次模型建设存在电源回路、跳合闸等回路有待进一步数字化,存量变电站需要进一步开展二次回路数字化建设等研究。

文章研究二次回路模型化技术,针对不同应用场景设计了两条建模路径,如图1所示。针对新建站,由设备厂家设计并提供设备物理模型,屏柜设计单位完成屏柜模型文件,设计院集成为全站物理模型;针对存量变电站,不重新进行设备物理模型和屏柜物理模型设计,而是利用变电站现有的电气二次CAD图样,通过CAD图样识别技术获取二次设备信息、电缆连接信息和光纤连接信息等,根据二次物理回路建模的方法,生成全站物理模型文件。

电气二次CAD图样包括屏柜布置图、柜内元件图、装置背板图、二次原理图、端子排图和光缆连接图六类,利用CAD识图技术分别从六类图样中识别获取屏柜、设备和各器件的位置信息、连接关系等建模属性,按照变电站二次回路信息模型,写入到对应属性中形成全站物理模型。

基于CAD识图的模型配置流程如图2所示,建立二次元件识别图元库,将电气图元拓扑化;识别

CAD图样的图戳，确定CAD图样所属的屏柜、装置等信息；拾取CAD图样中的各类元件；根据识别二次元件的位置遍历二次元件附近的文字内容以及图样所属的屏柜或装置信息获取元件的属性信息；拾取CAD图样中的各种连接线，通过连接线首尾两端坐标位置获取连接线连接的二次元件连接点，结合识别二次元件的位置坐标获取元件与元件间的连接关系；拾取CAD图中的文本框位置坐标与文字，与连接线的位置坐标进行匹配，将文本框中的文字赋值到连接线的功能说明属性中，完善连接线的回路功能识别；完成所有CAD图样的识别，根据图样的连接关系，将各二次元件连接信息进行信息整合，形成全站二次回路模型，如图3所示。变电站全站物理回路模型中涵盖了二次系统中二次设备、间隔设备、物理回路的属性信息和连接信息。

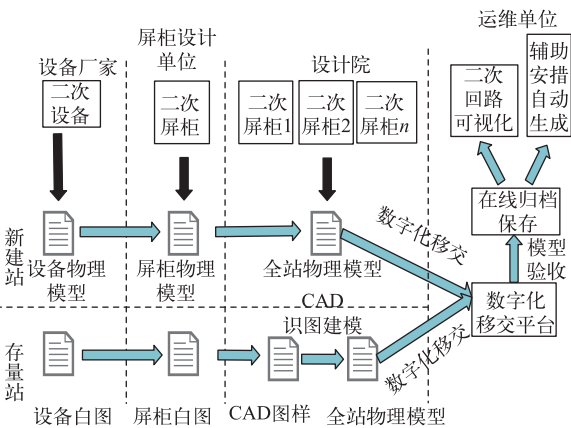


图1 二次回路模型化

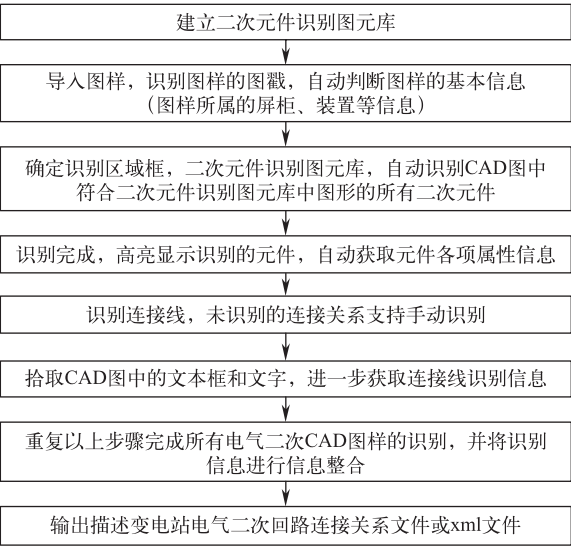


图2 基于CAD识图的模型配置流程

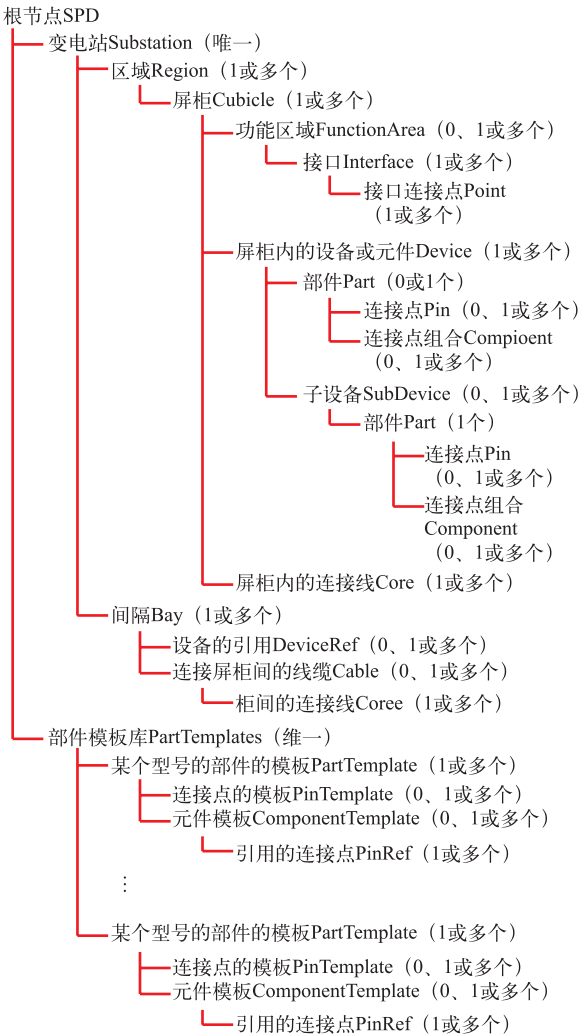


图3 全站物理回路模型

安措策略自动生成

智能变电站二次检修安全策略是指在变电站进行检修作业时，用于隔离待检修设备与在运行设备之间的互操作关系，以确保在运行设备安全的相关措施。随着智能变电站规模增大，复杂度增高，依靠人工制定安全措施和作业步骤，安全保障和设备缺陷处理能力有限。文章基于建立的变电站二次回路全域数字化模型，以选择的二次屏柜为中心，自动识别外部连接关系，结合建立的安措原则自动生成二次安全辅助措施票。

在变电站中，典型安措操作对象包括压板、开入回路、开出回路、光纤回路、交流电流回路、交流电压回路、直流电源回路和交流电源回路。二次设备处于不同的作业场景时，执行不同的安措策略。二次设备校验时，安措策略包括确认校验屏压板、断路器和

转换把手状态；断开校验屏的采样回路（电压电流回路）；断开校验屏对关联保护屏的输出回路，若回路有压板，则先断开压板，然后断开公共端和输出回路的端子，若回路没有压板，则只断开端子；断开校验屏至故障录波屏的故障录波回路，断开公共端或公共端及信号端子；断开校验屏至测控屏的信号回路，断开公共端或公共端及信号端子。

对典型安全措施进行形式化描述，形成计算机可以理解的语义规则，然后检修人员在实际编制具体的安全措施时，可以结合变电站电压等级、接线方式、待检设备类型、一次设备运行情况和检修工作类型等要素匹配合适的语义规则，将通用实施对象和操作对象模型化为变电站中具体的实施对象和操作对象实例，进而可以自动生成检修作业应开展的安全措施票。

下面以某保护屏柜校验为例，部分典型安措条目语义规则描述如下。

1) 光纤回路安措。拔掉220 kV线路光差保护柜1-1n线路保护装置05插件TX1光纤通道接口1光纤，并用防尘帽盖好。规则为：“屏柜/端子箱名称+装置名称+插件号+光口+标签号+（功能）”光纤，并用防尘帽盖好。

2) 交流电压回路安措。打开220 kV线路一汇控柜1-3UD5上U4211电压回路，并用红色绝缘胶布包扎好。规则为：打开“屏柜/端子箱名称+端子号+号码筒编号+（功能）”回路，并用红色绝缘胶布包扎好。

3) 信号回路安措。解开220 kV线路一测控屏X1106U上I-J901装置闭锁回路，并用红色绝缘胶布包扎好。规则为：解开“屏柜/端子箱名称+端子号+号码筒编号+（功能）”回路，并用红色绝缘胶布包扎好。

4) 直流电源回路安措。解开500 kV继电器室C段直流分电屏X1-11上101装置电源回路，并用红色绝缘胶布包扎好。规则为：解开“屏柜/端子箱名称+端子号+号码筒编号+（功能）”回路，并用红色绝缘胶布包扎好。

基于变电站全站物理回路模型，以目标屏柜为中心，自动识别其外部连接关系，以典型安措规则匹配变电站物理回路模型中对象实例化安措生成二次安全辅助措施票。以交流电压回路隔离

为例，由模型中屏柜的电缆连接关系Cable.Core确定与检修屏柜关联的运行屏柜，由电缆中的电缆芯Interface.class和type属性确定回路类型，检索模型中Interface.class= AI且Interface.type = PT的回路，即为与检修屏柜相连的交流电压回路，从模型中提取回路的Cubicle.Name、Point.DeviceName+ Point.SubdeviceName、Core.designation和Interface.desc属性，填写到规则描述中实例化安措条目中。

安措智能导引技术

现场执行安措时，二次屏柜众多，屏内回路标签密集，操作对象查找困难。文章分析变电站二次图样矢量图元属性信息要素，制定矢量图元配置文件格式及内容规范要求，包括图元名称、连接点、矢量大小和线宽等属性信息，建立物理回路模型与矢量图元的映射关系，根据应用场景需求制定矢量图绘制原则，生成带有模型属性的虚拟电气二次图样。安措操作时，在虚拟二次回路图上进行行动路线和安措操作对象的智能指引。

基于全物理回路模型生成的虚拟小室屏柜布置图，虚拟小室屏柜布置图建立小室内所有屏柜的坐标，执行安措时，根据运维人员的坐标和目标屏柜的坐标，以及安措条目中操作对象位于屏柜的位置自动规划路径，并计算不同路径的距离，根据最短路径原则选定行动路径，并在虚拟小室屏柜布置图中动态指引，如图4中箭头所示，运维人员根据路线指引移动至目标屏柜。

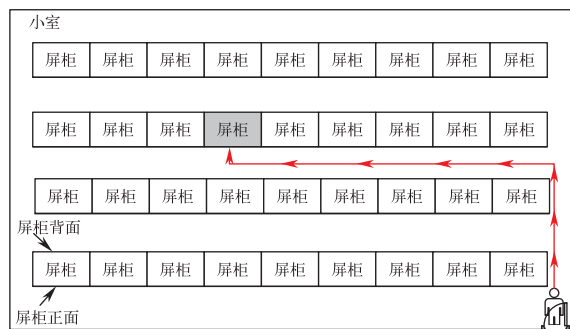


图4 路线指引

安措条目中操作对象位于屏柜的位置根据虚拟屏柜布置图获得，一般软压板、装置正面板位于屏柜的正面，端子排、装置背板图等位于屏柜的背面。同一屏柜，操作对象位于屏柜正面或者背面往

往有不同的行动路径。

安措执行时，解析安措票当前执行的安措条目，识别该条目的操作对象，根据操作对象自动跳转至对应屏柜的虚拟图样，根据操作对象类型可跳转至屏柜布置图、装置背板图和端子排图等，并在虚拟图中闪烁操作对象，以便运维人员快速准确定位安措操作对象。

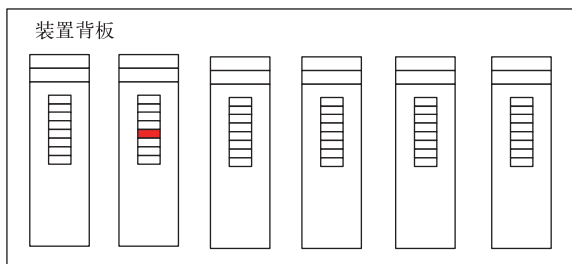


图5 操作对象指引

实例验证

以某220 kV变电站220 kV主变压器保护屏柜检修安措为例，验证文中所提方法的有效性。利用文中二次回路模型化技术建立全站二次物理回路模型，基于全站二次物理回路模型生成带有模型属性的虚拟电气二次图样。设置34P 1#主变压器保护柜检修，自动生成检修安措票，安措措施包括断开33P 1#主变压器测控柜的信号回路，确认59P 220 kV母线保护柜1相关功能压板退出，拔掉34P 1#主变压器保护柜光纤。

运维人员执行安措时，二次设备运维检修安措智能指引系统根据第一条安措条目：解开33P1#主变压器测控柜1-21GD4上J701（信号回路）回路，并用红色绝缘胶布扎好，确定操作对象为33P 1#主变压器测控柜正面，系统自动规划行动路径如图6所示。

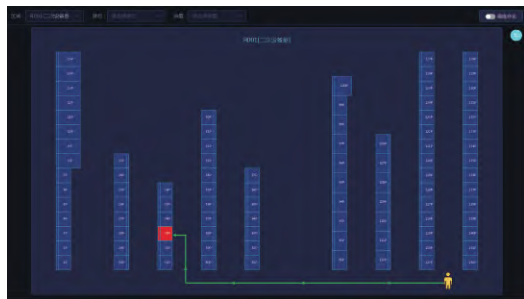


图6 现场行动路线指引

运维人员到达目标屏柜，二次设备运维检修安措智能指引系统自动跳转到对应的端子排图，并

将操作对象标红提示，如图7所示。安措执行过程中，系统根据各安措条目操作对象自动跳转到对应的虚拟电气二次图样，标记操作对象，极大地方便运维人员锁定操作对象。

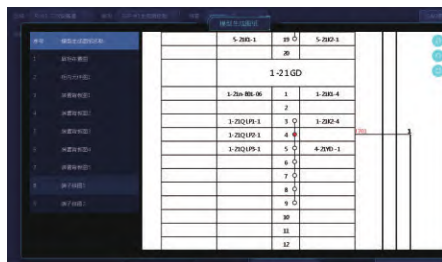


图7 操作对象指引

结束语

针对智能变电站二次设备回路繁杂、运维检修安措实施困难等问题，研究了基于二次回路全域数字化的变电站二次设备运维检修安措智能引导技术，建立变电站全物理回路模型，对运维检修安措原则进行机器化描述，实现二次设备运维检修安措隔离策略的自动生成；基于变电站全物理回路模型生成虚拟电气二次图样，安措实施时，在虚拟电气二次图样上对行动路线及操作对象进行指引。文章所提方案现在已进行实施，实例验证表明，所提方案不仅降低了二次运维检修安措票编制难度，提高了安措票生成效率，还可以帮助运维检修人员快速锁定操作对象，降低误操作的概率。EA

(收稿日期：2023-07-03)

参考文献

- [1] 郝晓光, 耿少博, 任江波, 等. 智能变电站二次电缆回路建模方法研究与应用[J]. 电力科学与技术学报, 2020, 35(4): 161-168.
- [2] 刘千宽, 刘宏君, 丁晓兵, 等. 服务于变电站数字化设计的二次设备建模技术研究[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(2): 166-172.
- [3] 徐晓春, 汤同峰, 赵雨田, 等. 智能变电站二次设备检修安措规则数据库设计与实现[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(2): 111-116.
- [4] 马艳, 孙学军, 吴航, 等. 基于二次回路RFID标签的安措可视化操作指引系统[J]. 电气应用, 2022, 41(5): 35-40.