

[继电保护]

基于标准化设计的继电保护回路自动审查技术的研究与应用

文/ 扬州第二发电有限责任公司 谢志平

山东信诚同舟电力科技有限公司 张旭丰

无论是厂站建设时的设计、验收环节，还是检修及改扩建时的继电保护回路变更环节，继电保护专业管理人员和运检作业人员都需要对保护回路的正确性进行把关。数字化保护回路有效地提高了继电保护检修效率和准确性，缩短了现场调试时间，及时发现继电保护装置运行存在的潜在风险，为厂站安全稳定运行提供了关键保障。

在国内当前大部分厂站中，一二次设备功能的形态均以信息共享为依据，在基于信息交互的分布式厂站功能没有发生变化的前提下，基于 IEC 61850 标准实现数字化网络通信，少量光纤替代了传统继电保护的大量电缆，逻辑节点依据通信网络实现继电保护采样、跳闸信息传递和功能配合，功能间的信息流向关系通过 SCL 语言进行表达。技术的变革对厂站基建设计、安装调试、投产验收、运行维护和检修试验都产生了新的挑战，需要采用不同于传统继电保护的模式和工具进行作业。保护回路的准确性关系到继电保护装置能否正确动作，是厂站安全的重要防线，继电保护技术的变革使得保护回路从形态上发生了根本性的改变，从设计环节保护回路由设计图样便改为设计虚端子连线，图样审查变为继电保护模型审查，调试验收、运维检修环节保护回路“网络化”，二次虚回路配置信息变更为隐藏在继电保护模型文件中几千行的 XML 代码，“看不见、摸不着”成为保护回路的突出特点。保护回路由实变虚使得厂站保护专业管理和运维检修面临新的困难，人工无法甄别保护回路配置的

准确性和完整性，继电保护存在拒动作和误动作的风险，影响了厂站安全稳定运行。

保护回路演进

传统厂站二次系统中继电保护装置所需的模拟量数据和设备运行状态等信息通过电缆传送，保护动作逻辑在多个装置之间传递启动和闭锁信号，在各间隔层设备之间、间隔层与过程层设备之间采用大量的电缆连接，使传统方式下各个继电保护装置之间存在较多硬开入连接，保护回路接线较复杂、易出错、可靠性不高。

数字化继电保护回路“虚拟化”，使用 SCL 语言编制的继电保护模型文件承载，人工可读性差，保护回路变得“看不见”“摸不着”，与常规保护相比，如图 1 所示，保护回路连接、压板与回路的关联关系和信息传递表现不再直观和清晰，与原有电缆相比，光缆所承载信息量大幅增加，一根光缆内含有装置间的多组采样和跳闸信息，相关信息仅在监控后台可以看到，二次专业管理和现场运维检修工作急需专业化、自动化的手段进行保护回路的甄别判断。

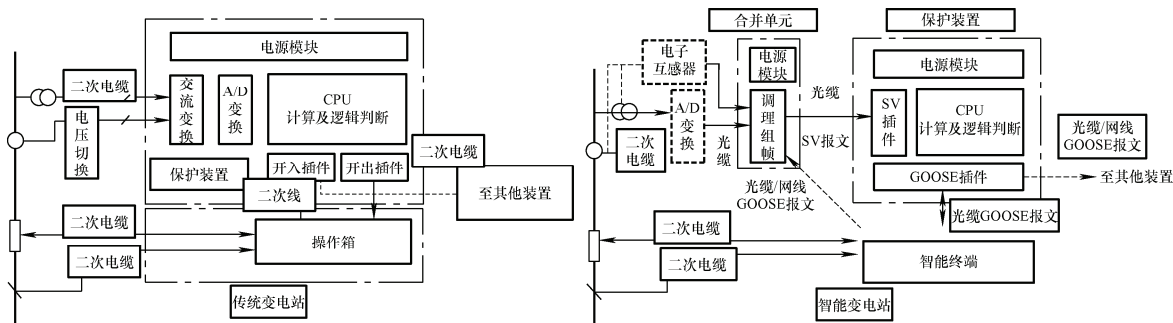


图1 传统和继电保护保护回路

标准化设计规则库

20 世纪 90 年代继电保护“四统一”标准化设计统一了设计技术条件、接线回路、元件符号和端子排编号，为继电保护应用打下了良好的基础。随着继电保护技术的发展，继电保护标准化设计从顶层定义了不同电压等级不同主接线形式的继电保护虚端子标准化设计规范，形成了标准化设计规则库和通用设计库。按照电压等级设置典型方案分为 750 kV 部分、500 kV 部分、330 kV 部分、220 kV 部分、110 kV 部分和 66 kV 部分。自动化审查依赖的规则库中智能装置的配置根据一次主接线形式确定唯一的二次智能设备配置方案。

根据厂站电压等级提取的二次智能设备配置方案示例如下。

(1) 合并单元智能终端配置方案示例

220 kV 线路、母联及主变压器进线智能终端、合并单元双套独立配置；110 kV 线路、母联/分段智能终端合并单元集成装置单套配置；主变压器 110 kV、35 kV/10 kV 智能终端合并单元集成装置双套配置；220 kV 母线合并单元双套，智能终端按段单套配置；110 kV 母线智能终端合并单元集成装置双套配置。110 kV 线路、母联/分段智能终端合并单元集成装置单套配置；主变压器各侧、110 kV 桥开关和 110 kV 母线智能终端合并单元集成装置双套配置。

(2) 保护装置配置方案

220 kV 线路、母线、母联/分段保护均双重化配置；110 kV 线路、分段/桥保护单套配置；110 kV 母线保护单套独立配置；220 kV 主变压器应配置双重化电量保护及单套非电量保护。110 kV 主变压器宜配置双套主后一体化电量保护，也可采用单套的主后备保护分置的电量

保护；配置单套非电量保护，与本体智能终端集成设计。35 kV/10 kV 间隔保护单套配置。

(3) 测控装置配置方案

220 kV 主变压器高中低压侧与本体单套配置；220 kV 线路测控单套配置；110 kV 母线测控双套配置；110 kV 线路、分段/桥测控单套配置；110 kV 母线测控单套配置；35 kV/10 kV 线路、分段/桥测控单套配置。

(4) 标准化回路设计

以标准化设计规则库为基准，通过解析提取继电保护模型文件中的保护回路连接关系进行比对审查，实现继电保护回路的自动审查，高效准确地辨识回路配置问题，实现自动化回路审查纠错。

回路自动审查实现方案

对继电保护模型文件进行解析，逐一提取每个 IED 标签的内容，解析时按照智能装置信息部分、访问点部分、逻辑设备部分、控制块部分和 DO/DA 部分的顺序逐层提取，标识模型文件中的信息元素及关键字符，为回路的自动审查提供关键字符及信息路径。

1. 整体框架

整体框架如图 2 所示。

2. 审查实现方案

数字化保护回路按照 IEC 61850 面向对象的思想进行模型构建，保护回路在继电保护中对象化、模型化为发送装置、发送虚端子、接收装置和接收虚端子，隐含在 XML 代码片段中。保护回路连线在接收装置方配置，发送装置配置 GOOSE 控制块和 SMV 控制块，SV 和 GOOSE 的订阅关系在 Inputs 节点下定义，Inputs 节点由多个外部引用条目 ExtRef 组成，每个外部引用条目指定

了接收装置内部输入虚端子的地址 intAddr 和对侧发送装置的输出虚端子地址, 由 IEDName、IdInst、prefix、InClass、InInst、doName 和 daName 构成, 根据 ExtRef 中订阅的发送装置 IEDname, 到对侧发送装置的 FCDA 中定位出发送装置的 LD/LN/DO/DA, 分析出保护回路

连接关系的发送装置、发送虚端子、接收装置和接收虚端子, 提取出保护回路连接关系实例。厂站保护回路模型化为保护回路的自动化审查奠定了坚实的基础, 为继电保护回路准确性和完整性的自动审查提供了标准化的模型, 可以充分发挥出继电保护回路自动审查的优势。

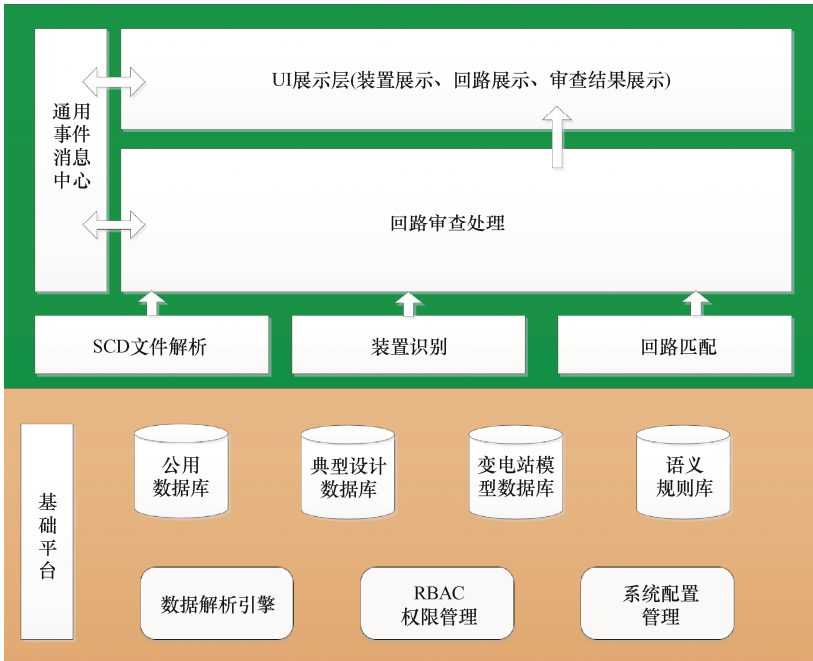


图2 框架图

首先解析继电保护模型文件, 自动提取厂站的电压等级, 选择一次主接线方式, 工具按照《线路保护及辅助装置标准化设计规范》《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》《国家电网公司输变电工程典型设计》定义的不同电压等级、不同主接线方式自动选取对应的保护回路审查依据的标准化设计规则, 对应的标准化设计规则包含的智能装置配置、装置与装置间的保护回路连接关系作为基准审查库。

遍历继电保护模型文件的 IED 标签, 提取继电保护模型文件中每个装置的 IEDname 和 desc, 判断装置类型, 根据 IEDname 标准化识别和 desc 中文描述匹配进行综合判断装置类型; 取 IEDname 进行判重, 重复的装置筛选标识, 在审查界面汇总重复的装置使用同一个颜色进行标记。依据 IEDname 的命名规则, 取继电保护模型文件中每个 IED 的 IEDname 和 desc 对 IED 类型、归属设备类型、电压等级、归属设备编号和间隔内同类装置序号这五项综合分析, 判断出装置电压等级和装置类型,

基于此继电保护模型中实例化的装置与标准化设计中的装置进行匹配, 完成发送装置和接收装置的提取和匹配。

装置识别匹配后, 提取装置与装置间的保护回路连接关系。遍历每个 IED 的 Inputs 节点, 分析 Inputs 节点的内容, 提取其中的外部引用条目 ExtRef, 每个外部引用条目指定了接收装置内部输入虚端子的地址 intAddr, 根据 intAddr 确定接收虚端子名称及其引用路径, 根据 ExtRef 中订阅的发送装置 IEDname, 到对侧发送装置的 FCDA 中定位出发送装置的 LD/LN/DO/DA, 提取出发送虚端子名称和引用路径, 形成的保护回路连接关系的发送虚端子、接收虚端子实例与标准化设计库中的虚端子名称进行匹配, 引用路径进行识别, 循环审核继电保护模型文件中所有的智能装置, 逐一判断每一条回路的正确性和完整性, 为兼容继电保护模型配置不规范的情况, 在装置识别和虚端子的识别时采用正则表达式进行模糊匹配, 匹配成功率可以大大提升。

继电保护模型文件中回路配置与标准化设计中回路

配置的情况分析:

1) 继电保护模型文件中两侧装置与标准化设计中的两侧装置都匹配, 继电保护模型文件中的发送端虚端子、接收端虚端子与标准化设计中的发送端端子、接收端端子都匹配——回路配置准确。

2) 继电保护模型文件中两侧装置与标准化设计中的两侧装置都匹配, 继电保护模型文件中的发送端虚端子、接收端虚端子与标准化设计中的发送端端子、接收端端子有一方不匹配——回路配置错误。

3) 继电保护模型文件中两侧装置与标准化设计中的两侧装置都匹配, 继电保护模型文件中的发送端虚端子、接收端虚端子与标准化设计中的发送端端子、接收端端子都不匹配——回路配置冗余或缺失: ① 继电保护模型文件中比标准化设计中多的情况, 多余的回路属于冗余回路; ② 继电保护模型文件中比标准化设计中少的情况, 缺少的回路属于缺失回路。

4) 继电保护模型文件中两侧装置与标准化设计中的两侧装置都不匹配——装置配置错误。

此外对于保护回路中外部信号和内部信号的类型不一致: 即外部信号是单点 (SPS), 内部信号是双点 (DPS); 外部信号是双点 (DPS), 内部信号是单点 (SPS) 的情况, 以及 SV 信号未配置到 DO, GOOSE 信号未配置至 DA 的情况, 外部信号配置到 t, 内部信号配置到 q 或 stval; 外部信号配置到 stVal 或者 general, 内部信号配置到 q 或 t 等保护回路错误配置, 导致回路无效进而造成继电保护功能闭锁的隐患, 自动化审查也可以有效准确地发现。

应用案例介绍

通过对扬州第二发电有限责任公司新扩建间隔以后的继电保护模型文件进行审查, 审查工具自动解析新扩建间隔装置间和母线间隔装置间的回路连接关系, 研判定位出继电保护模型文件中此线路间隔失灵启动回路缺失, 线路合并单元到线路保护采样回路相别连接错误, 迅速准确地发现隐患, 审查结果以图形化方式展示给用户, 如图 3 所示。

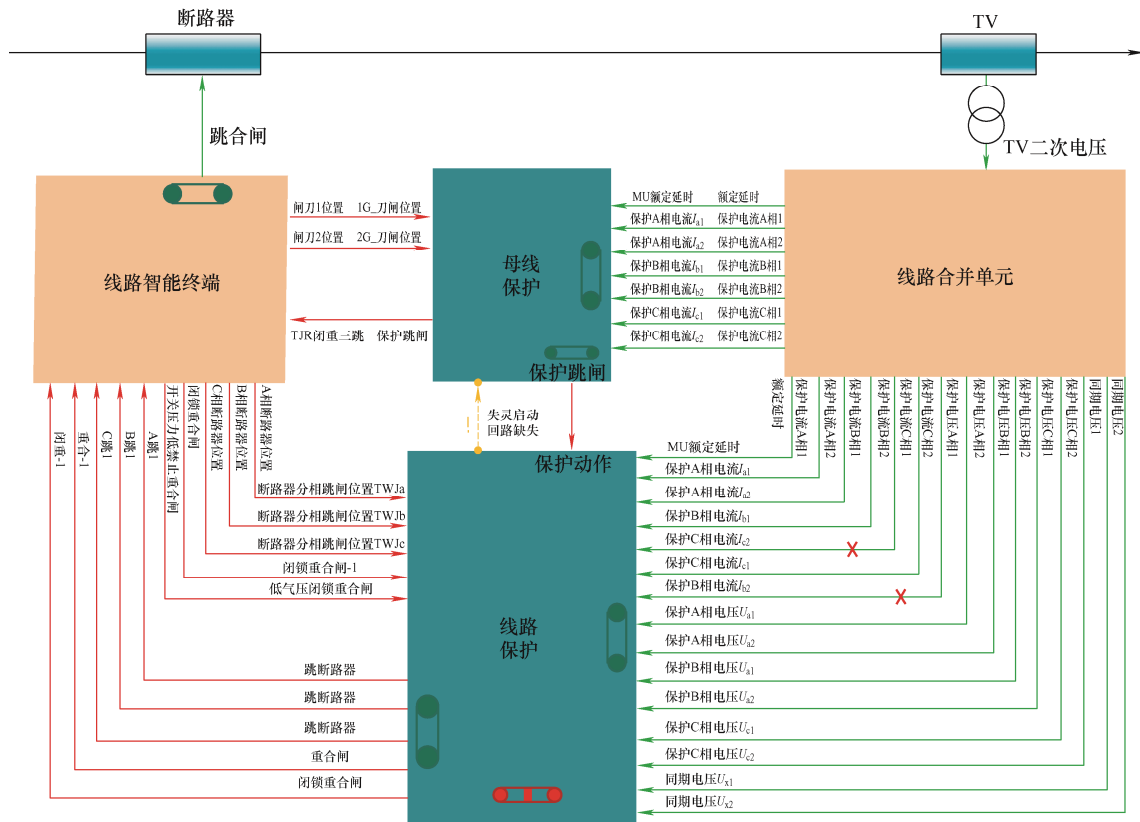


图 3 回路审查案例一

(下转第 45 页)

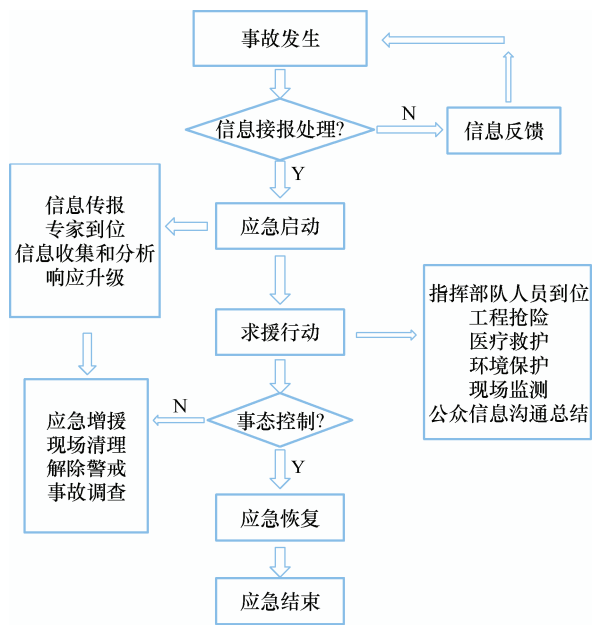


图 突发事件抢修演练流程

运检智能技术中，主要是通过对电力系统平台的优化，将海量的设备信息进行综合管理，在电力运检的过程中提供丰富的数据支持，使运检技术人员仅需要利用参数分析，便可以实时掌握设备、线路的运行情况，改变了以往“手摸眼看”的方式。同时，借助电力运检中的专家系统，可以对电力输电网络进行评估，及时查找事故风险，

发挥其分析、诊断、检修、报警及处理等功能，使电力运检更加便捷高效，以适应电力系统的智能发展形态。

4. 加强电力运检一体化管理

电力运检管理是提升突发事件抢修效率的关键。为改变传统管理模式上存在的缺陷和短板，应当不断创新电力运检管理方式，结合电力系统的融合性特征，实现电力运检的一体化管理。一方面，加强电力系统运行状态的实时监测，根据运行状态的变化制定运检策略，提升管理的针对性；另一方面，多角度实施电力系统数据处理，通过对异常数据的筛选，提升电力运检的指向性，使电力运检效率和质量获得保证。

结束语

综上所述，随着电力系统运行负荷的增加，各类突发事件呈现出频发、多发的趋势，如果不实现及时的抢修与应对，势必带来严重的后果。为保证电力系统的安全、高效和稳定运行，必须要从源头和基础层面入手，提升电力运检的科学性。因此，针对电力运检能力的提升，应从线路优化、模拟演练、技术升级与管理革新等思路，实现电力运检管理的科学化、一体化，切实提升电力运检的整体效能，适应未来电力企业的战略发展之路。EA

（收稿日期：2021.04.01）

（上接第 42 页）

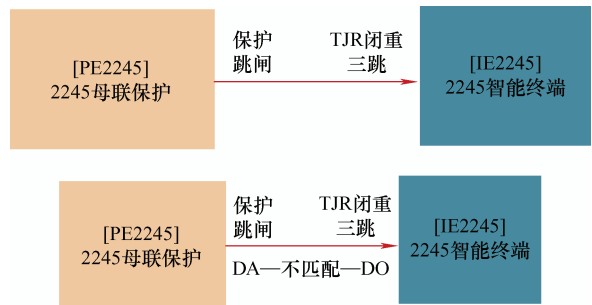


图 4 回路审查案例二

审查工具定位发现母联保护与智能终端之间的跳闸回路存在虚信号 DA 连到 DO 不匹配的错误，继电保护模型文件中回路描述为：<IED name="IE2245A" desc="2245 智能终端 A 套:PCS-222B-1" type="PCS-222B" configVersion="1.00" manufacturer="NRR">

<ExtRef intAddr="RPIT/GOINGGIO1.SPCS022"

iedName="PE2245A" IdInst="PIGO" prefix="" lnClass="PTRC" lnInst="1" doName="Tr" daName="general"/>。

结束语

本文针对厂站保护回路网络化，在形态和技术上发生的变化，结合继电保护模型配置的情况，研究和开发了基于语义辨识和虚端子地址识别的保护回路审查工具，通过大量的继电保护模型文件案例，验证了审查工具的快速、准确辨识保护回路配置的错误情况，极大地缩短现场调试验证时间，及时有效地规避继电保护运行的安全隐患，为厂站二次系统投产后的运维和检修奠定了坚实的模型和数据基础，在此基础上进一步拓展厂站的二次安全措施自动生成、继电保护智能运维和故障诊断等高级应用，实现二次系统全生命周期的精益化管理。EA

（收稿日期：2021.01.22）