

# 基于 IEC61850 的电网故障事件仿真方法研究在 220kV 西泾智能变电站的应用

俞力珉<sup>1</sup>, 鲍有理<sup>1</sup>, 季东方<sup>2</sup>

(1.无锡供电公司, 江苏 无锡 214061; 2.南京国电南自电网自动化有限公司, 江苏 南京 211100)

**摘 要:** 本文阐述了一种电网故障时保护动作事件的 IEC61850/MMS 通信仿真方法, 该方法通过普通运行 Windows 系统的 PC 机建虚拟的智能电子设备仿真系统, 用于代替物理的智能电子设备如继电保护装置和测控装置等, 产生精确到毫秒保护动作事件序列, 以对基于 IEC61850 通信的智能变电站自动化系统的高级应用进行方便灵活的调试和验证。使用本文所属方法而开发的工具目前已应用于 220kV 西泾智能变电站的高级应用电力系统故障识别项目的开发和验证中, 取得了较好的效果。

**关键词:** 推理机; 知识库; 电力系统故障

## 0 引言

2009 年 5 月, 国家电网公司明确提出建设“具有信息化、自动化、互动化的智能电网”, 到 2020 年全面建成统一坚强智能电网。智能变电站是电网运行数据的采集源头和命令执行单元, 是智能电网的基础和重要环节, 智能变电站应具有“全站信息数字化、通信平台网络化、信息共享标准化、高级应用互动化”等四个重要特征。智能变电站应是以变电站一、二次设备为数字化对象, 以高速网络通信平台为基础, 通过对数字化信息进行标准化, 实现站内外信息共享和互操作, 并以网络数据为基础, 实现测量监视、控制保护、信息管理等自动化功能的变电站。

作为 220kV 国网首批试点智能变电站西泾变已于 2010 年年底投运, 该站的运行模式为无人值守模式。该变电站的过程层实现了全数字化, 间隔层与站控层实现了基于模型的 IEC61850 通信, 但目前当电网发生故障时, 往往运维分析人员需要到变电站现场调阅故障信息、故障波形等相关电网故障信息, 对于电网故障的处理时间和快速恢复造成了一定影响。因此研发远方智能识别系统故障技术项目具有实际的必要性。

通过开发远方智能识别系统站端装置和系统, 在数字化的保护装置的配合下, 可将 220kV 西泾变保护故障动作时的信息尽可能全面上送主站, 主站

可利用信息进行智能的信息分类, 过滤, 综合展示系统故障的全貌: 保护动作的相别和时间、故障参数、录波波形以及保护内部动作逻辑判断过程等, 把系统故障的信息以最快的速度提供给集控站运行人员和专业技术人员, 提高分析效率、快速给出故障处理措施。

## 1 电网故障事件仿真方法研究

本课题针对少人或无人值守的智能变电站工程的特点, 重点研究如何在变电站发生故障时, 远方的调控中心等主站如何快速、直观、全面的了解分析故障情况, 并智能地给出故障处理措施。具体研究的内容主要包括如下三个方面:

### (1) 故障情况可视化新方法研究

变电站实施无人值班后, 全部信息汇总到监控中心。一个 220kV 变电站就有好几千条遥信量, 面对一个管辖几百个 35kV 及以上变电站的监控中心监视的遥信量有几十万条。目前普遍存在的问题是, 变电设备运行监视的模拟量、开关量信息由监控系统采集上来以后, 全部按时间顺序显示, 称为“时间顺序记录 SOE”, 未作任何的分层或判断处理。并且智能变电站的告警信息远大于常规变电站。当故障发生时, 系统短期内更会收到大量的信息, 因此如何使用处理好智能变电站的大量信息, 使得重要信息不遗漏, 次要信息不干扰, 是一个值得研究的课题。

通过研究故障情况可视化的新方法,能提高监控调度人员提高故障判断正确率,缩短故障处理时间。包括如何主站如何将收到的各子站上传的开关变位 SOE 信息、告警节点信号、故障时的保护的事件信息以及录波文件信息等进行关联整合,以便运行人员可实时地在监视画面上显示一目了然;故障发生后,系统如何将包括电力系统运行的状态数据以及系统运行过程中的运行数据如告警,音响,图像信息等的信息进行全面的回放,在主接线图界面上反演:按照时间顺序,展示如一次设备潮流变化引起保护启动、出口,带来开关跳闸,随之重合闸出口,引起开关动作等一系列的动作情况进行再现反演,以方便事故分析。

(2) 适应电力故障分析的专家系统推理机和专家知识库研究

目前智能变电站自动化系统可上送的故障时的信息非常丰富,但同时值班员在值班时收到了大量不重要的信息后,会对突发信息失去警惕性,在事故发生时,调度员无法判断此时接受到的信息是否正确,从而无法及时准确地进行事故处理,严重时可能会对事故的发生失去响应。因此需要研究开发适应电力故障分析的专家系统推理机和专家知识库,运用精确数学模型对各类电网故障进行建模分析,用来提取故障报警信息,辅助故障判断及处理。同时也可以弥补变电站值班员技术业务水平参差不齐带来的隐患,并具备培训作用。以减轻变电站值班员的工作量、提高事故异常处理的准确性和快速性、保障电网安全运行。

(3) 电网故障时的模拟仿真工具开发

由于现在大量的智能变电站都已投入运行,已不具备条件停电进行远程智能识别电力系统故障的专家系统的验证,但专家系统的推理机和知识库如果没有经过验证就投入运行,其本身对故障的误判断将会造成运行人员对系统的信任度逐渐降低,因此必须能够在实验室进行大量的电力系统故障仿真,对专家系统进行全面的实验室评估。作为项目能够顺利成功运行的先决条件,必须开发电网故障时的模拟仿真工具对系统进行大量的测试验证。

### 1.1 主站的故障展示可视化的新方法研究

主站的故障可视化展示包含两个方面,第一是故障发生时的故障情况的综合实时展示,便于向上级快速报告;第二是故障发生后的故障情况反演,

便于事后深入分析故障。其可视化展示的新方法主要包含如下功能。

#### 1.1.1 故障多维度信息综合关联展示

当电网发生故障时,主站能将收到的各子站上传的故障信息,并实时地在监视画面上显示。主站系统能将故障时的保护的事件信息与录波文件信息进行关联整合,结合专家系统的分析结果,形成故障报告,报告包括以下内容:保护名称、故障绝对时间、故障相别、测距信息、动作事件以及保护的录波波形等相关信息,以及处理建议等。如图 1 为故障信息综合展示。

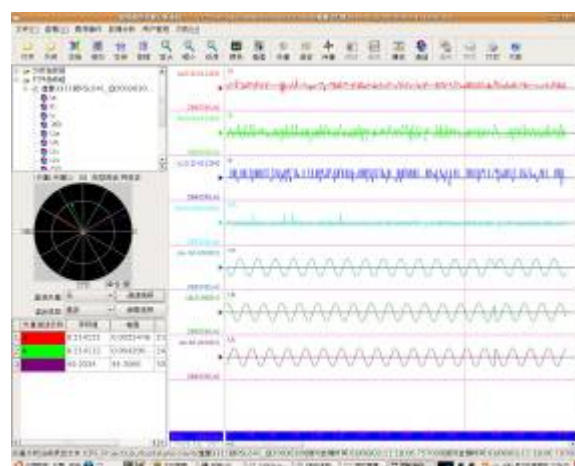


图 1 故障信息综合展示

#### 1.1.2 全景数据反演

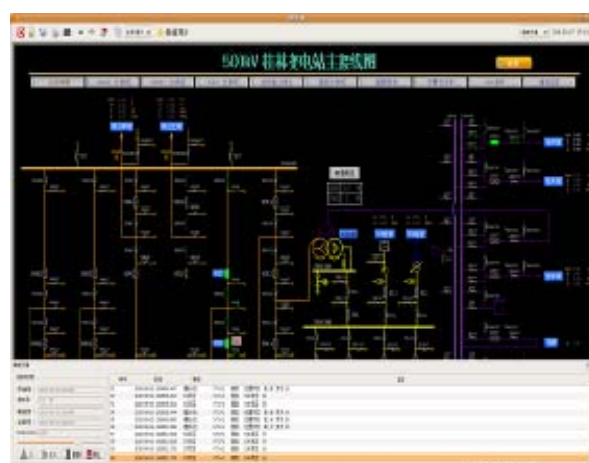


图 2 变电站故障全数据反演

全景数据反演技术可以事后分析时,对变电站故障时的全景数据(包括电力系统运行的状态数据以及系统运行过程中的运行数据如告警,音响,图像信息等)进行全面的回放,在主接线图界面上反演:按照时间顺序,展示如一次设备潮流变化引起保护启动、出口,带来开关跳闸,随之重合闸出口,

引起开关动作等一系列的动作情况。随着再现反演进行,一次二次设备依次在图上闪烁,发生事件依次凸现。从而给事故分析提供综合的数据信息支撑。如图 2 为变电站故障全数据反演。

### 1.1.3 智能告警窗技术

针对智能变电站的远大于常规变电站告警信息,如何在告警显示中首先进行合理的分层分类,方便运行人员查看所关注的信息,同时进行智能的处理,做到重要信息不遗漏,次要信息不干扰,也是主站可视化展示的重要方面。因此进行告警的分层分类,计时计次等的技术的研究具有很重要的意义。

按照实际运行对自动化信息监视的不同要求划分为不同层次的信息窗口，并按照实际工程要求对采集信息进行不同类别的划分。不同层次的信息窗口包含一定类别的信息。采用自动化信息的二维划分法可根据现场实际要求灵活划分，信息窗口层次和信息类别可按照实际工程要求灵活设置和组合。

各信息窗口应均可设置按厂站、间隔、类型进行过滤，在集控站应用中按照信息所属间隔或所属厂站在信息分层窗口灵活进行筛选过滤，运行值班人员能在所属厂站或间隔窗口中灵活选择需要的信息类别，将有关联的信号放在一起显示，可方便值班人员对不同厂站不同间隔产生故障的判断和异常情况的监视。

## 1.2 电力故障分析的专家系统推理机和专家知识库研究

专家系统是一种计算机应用系统。由于应用领域和实际问题的多样性，所以，专家系统的结构也就多种多样。但从概念来讲，一个专家系统应具有如右图所示的一般结构模式。其中知识库和推理机是两个最基本的模块。知识库是专家系统的核心。知识库的质量直接关系到整个系统的性能和效率。因此，专家系统必须包含领域专家的大量知识，拥有类似人类专家思维的推理能力，并能用这些知识来解决实际问题。一般专家系统由知识库、数据库、推理机、解释部分、知识获取及人机接口六个部分构成，核心部分是知识库和推理机两部分。

### 1.2.1 专家系统推理机技术研究

所谓推理机，就是实现（机器）推理的程序，是使用知识库中的知识进行推理而解决问题的。所

以，推理机也就是专家的思维机制，即专家分析问题、解决问题的方法的一种算法表示和机器实现。这里的推理，是一个广义的概念，它既包括通常的逻辑推理，也包括基于产生式的操作。按照工作流程推理机首先需要将用户输入的信息与知识库中各个规则的条件进行匹配，然后再根据被匹配出的规则根据知识库中相关知识推理出相关结论并存放到综合数据库中。

推理机针对当前问题的条件或已知信息,反复匹配知识库中的规则,获得新的综合结论,以得到问题求解结果。推理的过程就是问题的求解过程。根据求解过程所用知识因果关系的确度程度不同,推理分精确推理和不精确推理两类。当领域知识能用必然的因果关系表示,则推理得结论要么是肯定的,要么是否定的,这种推理属精确推理。若领域知识或用户给出的原始证据是不确定性的,推理的结论也只能用一种不确定性来度量,这种推理属不确定推理。产生式系统常用的推理方式分为正向推理、反向推理及正反向混合推理 3 种方式。如图 3 为电力系统故障识别系统推理机图。

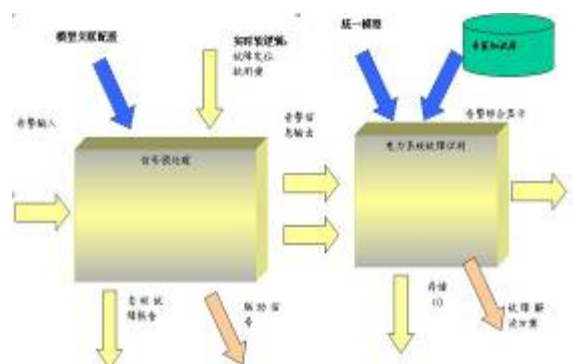


图 3 电力系统故障识别系统推理机图

### 1.2.2 专家系统知识库技术研究

专家系统中的知识表示形式有产生式、框架、语义网络等，而运用得较为普遍的知识是产生式规则。有些过程型知识是由前提引出结论，产生式表示法就是这种由一个或N个前提引出一个结论的知识表示形式，因此又叫前提——结论对，也叫规则表示法。用产生式方法表示知识的专家系统成为产生式系统。变电站运行信息处理专家系统就可以采用产生式系统，并作为规则存入系统知识库中。

结合 220kV 典型变电站的主接线方式, 及其保护配置情况, 对其远方智能识别电力系统故障专家系统的知识库作如下表的分类归纳。如图 4 为知识



库分类表格。

故障大类	故障知识点
220kV 线路故障	1. 瞬时性单相接地故障 2. 永久性单相接地故障 3. 线路相间故障或三相故障 4. 线路手合于故障 5. 本侧接受远跳信号跳闸 6. 单相故障，重合闸动作成功 7. 线路单相故障，断路器失灵 8. 线路相间故障，故障相失灵
110kV 线路故障	1. 瞬时性故障 2. 永久性故障 3. 线路手合于故障 4. 本侧接受远跳信号跳闸 5. 线路故障，开关失灵
主变故障	1. 主变故障 2. 主变内部故障，重瓦斯动作 3. 主变内部故障，压力释放动作
220kV 母线故障	母线故障
110kV 母线故障	母线故障

图 4 知识库分类表格

以 220kV 线路瞬时 A 相接地故障为例，见图 5，知识库主要可考虑分相开关位置、分相跳闸信号以及重合闸动作信号等。

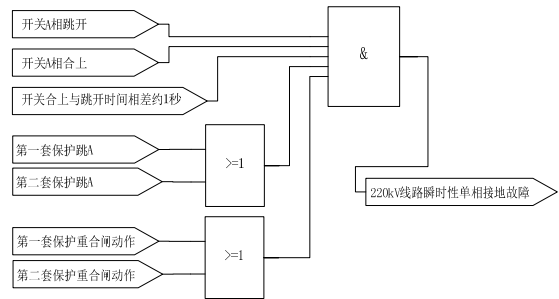


图 5 220kV 线路瞬时性单相接地故障知识库

1.3 电网故障时的模拟仿真工具开发

为了在普通运行 Windows 系统的 PC 机上建立电网故障时保护动作事件仿真系统，用于代替物理的智能电子设备如继电保护装置和测控装置等，产生精确到毫秒保护动作事件序列，以对专家系统进行方便灵活的调试和验证，本工具使用了如下的方法：

电网故障时保护装置和测控装置等智能电子设备上送给后台的信息是一组有严格时序关系和毫秒级时间精度的保护动作事件和开关变位序列。该序列的配置信息存贮于支持 SQL 的数据库中，针对仿真程序使用了轻量级的进程内数据库 SQLite，每一条事件信息需包括逻辑设备名、数据对象引用、

状态值、以及相对触发偏移时间毫秒数等信息。

仿真程序运行时，首先使用 SQL 语法的 ORDER BY 排序功能按照相对触发时间毫秒数查询预配置于 SQL 数据库中的待仿真保护装置的开关量及保护事件，形成精确到毫秒的发生时间递增排序的保护动作事件和开关变位序列。由于 IEC61850 标准规定其中 CID（Configured IED Description）文件包含了智能电子设备投运时的完整模型信息，仿真程序可使用实际被仿真设备的已有 CID 文件，解析获得该设备对外通信的所有信息和配置，启动 IEC61850/MMS 通信服务。

设定一定时器任务，典型的在 Windows 系统下定时周期可为 100ms，任务触发后，查询保护事件及开关量序列，将序列中该时刻之前的所有未触发序列一次性写入 MMS 数据对象中，其中每一条事件的时标都是仿真程序开始运行时刻加预配置的相对触发时间毫秒数偏移后的时标，MMS 服务将会由于报告的缓存特性产生一次开关量及保护事件报告发送给后台；定时任务持续运行，直至保护事件及开关量序列中的所有条目都已发送完毕。如图 6 为 220kV 线路瞬时性单相接地故障知识库。

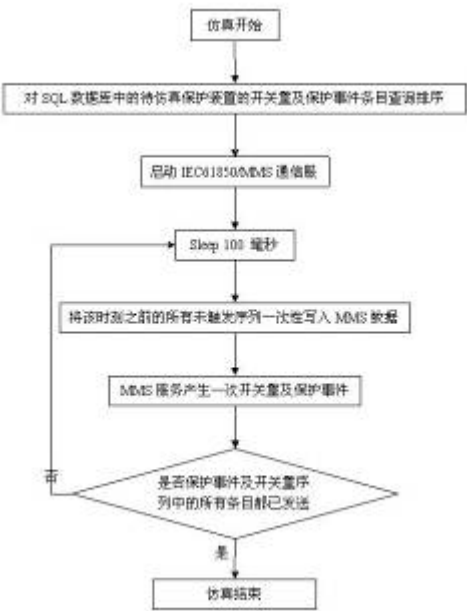


图 6 220kV 线路瞬时性单相接地故障知识库

2 应用案例分析

2.1 部署概述

按照项目的研究进度，项目组进行了分步实施。(1) 2012 年 5 月，在无锡西泾变现场部署远方

智能识别电力系统故障识别的子站装置，和站内的保测一体装置等建立通信，并开始存贮站内事件和波形数据，（2）2012年6月开通了主站至西泾变的10M通信专线通道，并进行测试联调；（3）2012年6月底在无锡调控中心部署远方智能识别电力系统的主站服务器，并和西泾变电站端装置建立了正常通信，并调试验证各功能正常。

## 2.2 现场验证背景情况

由于本项目所依托的变电站 220kV 西泾变为正常运行带负荷变电站，不具备停电传动产生线路、母线或主变故障等情况验证远方智能识别电力系统故障技术。所以项目组以近期发生的一次真实保护动作事件对故障识别技术进行了验证。

在 2012 年 7 月 4 日 220kV 西泾变西利 4514 线发生一次电力故障（本次故障线路所配的线路保护测控装置一套为国电南自的 PSL603U，另一套为南瑞继保的 PCS931）。在 OPEN3000 调控主站上查询得到动作时间信息见图 7。

[illegible]

图 7 OPEN3000 调控主站上查询得到动作时间信息

### 2.3 故障基础数据采集

在本次故障动作后，系统第一时间采集到了国电南自的 PSL603U 和南瑞继保的 PCS931 保护装置分别产生录波文件。

西利 4514 线 931 保护 (IED 名称 PL2201A)  
录波文件:

PL2201A RCD 00049 20120704 184917 860.hdr

PL2201A RCD 00049 20120704 184917 860.cfg

PL2201A RCD 00049 20120704 184917 860.dat

西利 4514 线 603 保护 (IED 名称 PL2201B) 录波文件:

PL2201B RCD 21045 20120704 184917 856.hdr

PL2201B RCD 21045 20120704 184917 856.cfg

PL2201B RCD 21045 20120704 184917 856.dat

## 2.4 录波文件分析展示

录波文件分析展示见图 8。

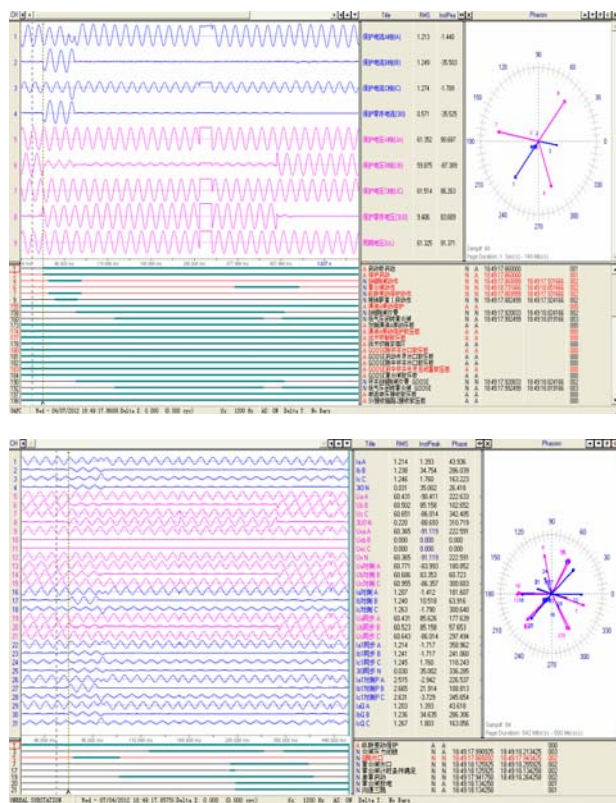


图 8 录波文件分析展示

### 3 结束语

本项目依托无锡 220kV 西泾变针对“远方智能识别电力系统故障技术研究”展开研究,开发了电力系统故障发生时的故障情况的多维度综合实时展示技术;故障发生后的全景数据反演技术;智能告警窗技术;以及适应电力故障分析的专家系统推理机和知识库技术等,并且为验证专家系统开发了模拟

电网故障时动作事件仿真的工具。项目成果的实施提高了电网运行人员和专业技术人员对电网故障的分析效率、并可快速给出故障处理建议措施,更好地保障了电网的安全、稳定运行。

本项目研究所取得成果不仅可应用于大量的新建的 220kV 智能变电站,对于 110kV 电压等级的智能变电站,以及对于更大量的 220kV 或 110kV 传统变电站在进行一定的信息规范化改造的前提下也可以应用。

(1) 对于大量新建的 220kV 智能变电站和 110kV 电压等级的智能变电站,本项目所做的故障可视化方法、智能告警窗、远程故障识别专家系统等由于智能变电站实施的统一规范标准保证,都可以很好的应用本项目研究的电力系统故障的多维度综合展示技术、全景数据反演技术以及故障识别的专家推理系统等。

(2) 对于更多已运行的 220kV 或 110kV 常规变电站,故障可视化方法、智能告警窗等技术目前已可以实施,同时随着国网《关于全面推进大运行体系建设的工作意见》的要求,传统变电站会按照“告警直传,远程浏览,数据优化,认证安全”的技术原则对变电站的告警信息按照“电网.厂站线/电压.间隔.设备/部件.属性”的格式进行规范,并且对上送的告警信息的点表做了语义化的规范,而这些基础信息正是远方智能识别电力系统故障专家系统知识

库所需要的有语义的基础信息,因此可以预期随着大运行的全面推进,更多的传统变电站也将可以使用本项目的研究成果进行远方智能识别电力系统故障。

#### 参考文献:

- [1] 王凤祥. 基于 IEC61850 的变电站配置研究与工具开发 [M]. 成都:西华大学,2010.
- [2] 卞鹏,潘贞存,高湛军,等.SCL 在变电站远程配置管理中的应用[J].电力自动化设备,2004,24(4):54-56.
- [3] 谭文恕.变电站通信网络和系统协议 IEC61850 介绍[J].电网技术,2001,25(9):8-11,15.
- [4] 孙军平,盛万兴,王孙安.面向对象的变电站网络通信抽象模型[J].计算机工程与应用,2002,38(12):210-212.

#### 作者简介:

俞力珉(1981-)男,江苏无锡人,工程师,从事自动化系统运行管理工作;

鲍有理(1966-)男,安徽安庆人,高级工程师,从事继电保护运行管理工作;

季东方(1974-)男,江西临川人,工程师,从事继电保护运行管理工作。