

一种基于数据融合的电力系统故障综合分析方法研究

针对国内建设的故障分析系统普遍存在的难以实现故障综合分析和判断等问题，提出了一种基于故障录波数据、SOE信号数据及雷电数据等的融合方法，对故障定位、识别及综合分析的算法及核心问题进行了研究，实现对继电保护动作事件、故障参数、录波器录波等电网故障信息的综合分析与判断。为保护专业人员进行故障分析时提供辅助支撑手段，减少故障分析时间，为调度专业人员事故处理提供辅助决策手段，具有极高的推广应用价值。该系统已在南网总调正式投运，得到了实际工程应用的验证。

胡超¹ 高宏慧² 陈宏山² 郑茂然² 徐鹏²/1.南京南瑞集团公司信息通信技术分公司
2.中国南方电网电力调度控制中心



胡超/工程师

关键词/Keywords

- 故障定位 ·
- 故障识别 ·
- 录波处理 ·
- 时间基线 ·

0 引言

目前国内外各网省对系统故障信息的统计口径较为零乱，没有形成规范化、标准化的体系，用于分析的基础数据来源于单一的保护信息系统，信息的格式较为单一，只能简单地反映当前保护装置的动作情况，进一步的关联性分析（如由于一次设备的故障影响二次设备的运行及对整片电网有何深远影响等），长期以来只能依赖继电保护人员的运行经验和知识累积，不利于知识经验的沉淀与共享^[1]。

近年来，基于IEC 61970 CIM标准的自动化系统在电网调度领域得到了极大发展，各网省调均在陆续投资建设符合CIM标准的新一代自动化系统，可以通过建立二次设备CIM模型实现关联，避免了以往系统中一、二次系统相互独立的情况。通过采集、处理继电保护、故

障录波及安全控制等二次装置的信息及SCADA系统的SOE信号，并提供全面的故障分析平台，有利于继保部门迅速掌握电网实际故障状况及继电保护动作行为，及时分析电网事故、迅速做出正确判断，同时有助于掌握继电保护设备状况，有效分析继电保护动作行为，提高调度管理及运行管理水平^[2]。

针对国内建设的故障分析系统普遍存在难以实现故障综合分析和判断等的问题^[3]，本文提出了一种基于故障录波数据、SOE信号数据、OMS数据、通信检修及雷电数据等的融合方法，实现了对继电保护动作事件、故障参数及录波器录波等电网故障信息的综合分析与判断。

1 故障分析原理

分析保信主站中的装置报文信息，提取保护动作报告作为故障分析的触发点。考虑系统间保护的配合关系，故障分析基于从第一条保护动作信息发生时间开始的10 min内各种保护装置的故障录波、报文信息，以及从EMS中得到的潮流断面数据进行展开。

分析内容包括解析和故障线路或设备相关的各种保护装置动作行为，分析故障发展过程，断路器动作情况等。系统显示所有动作装置故障录波图形，提供手工或自动定位故障起始时刻的功能，并可据此起始点输出保护动作情况报表，报告故障过程中各保护装置动作顺序、各保护动作时间及断路器动作（断开或闭合）时间，并可根据保护报文分析故障选相、故障测距结果等。

2 故障分析方法

2.1 故障分析算法

1) 根据调度管理系统(OMS), 建立设备参数库, 包括OMS一次设备信息、保护设备信息、EMS设备信息以及三者之间的对接关系。

2) 根据保护动作信息及电网模型, 确定简化的一次系统模型; 该模型允许人工干预, 进行手动修改。

3) 根据简化模型, 载入保护型号、开关型号, 建立二次设备清单。

4) 根据保信系统数据接口规范, 自动召唤停电相关联保护的故障报文、SOE信息、录波数据, 作为分析数据源。

5) 根据录波文件数据, 找寻故障发生的统一时间基线(故障起始点), 根据时间基线, 对录波、报文信息等进行时标修正。

6) 修正后, 可以对各保护装置的动作信息, 按时间先后进行排序; 并在子窗口中, 可以调阅按时间排列的动作信息。

7) 建立时间发生顺序图, 在一次简化模型中进行显示。

8) 根据故障点切除是一封闭区域的原则, 依靠保护动作时间、结合电网拓扑关系及故障测距数据, 定位故障元件(如变压器, 线路)、故障相别和故障点; 也支持手动修改, 并将最终结果在简化系统图中用故障箭头表示出来。

9) 根据故障点, 对各保护动作行为进行分析, 确定动作属性。动作属性分为六类, 即正确动作、越级动作(作为其他保护拒动的后备)、拒动、误动、误选相(目前只考虑线路的)和无关联; 每种属性用不同颜色在简化系统图中显示。

2.2 核心问题处理

(1) 模型简化

1) 提取故障发生前和发生后EMS系统信息(潮流, 开关位置), 确定系统运行状态。如果确认收到保护动作信息, 则永久保存EMS系统状态断面; 如果前后两组数据的开关位置发生变化, 则暂时缓存数据, 并等待保护动作信息, 如得到保护动作信息则永久保存, 否则一段时间后

删除。

2) 根据EMS状态信息中断路器的位置变化、保护动作信息及SOE变位信息, 确定应该动作的断路器。

3) 由这些动作过的断路器, 确定其关联的母线、线路及变压器等元件, 及上述元件上的其他断路器, 标识为故障相关的停电范围。

4) 根据停电范围生成简化的一次系统模型。

(2) 时间基线判断

1) 计算录波文件第一个周期的二次电流有效值, 取其10%作为门槛, 如该门槛小于0.1 A, 则用0.1 A作为门槛。

2) 计算录波数据的相电流差突变量、零序电流、负序电流和相电流, 若其中任意一个电气量大于门槛, 则认为启动元件动作。

3) 以最快的动作元件为基准, 向前推3~7 ms, 找出该区间采样值有突变的起始点(后面的点均有差值), 认为是故障发生的时刻, 作为该设备的时间基线。

4) 允许在录波文件中, 进行手动调整; 调整后对以下的时间修正能够自动进行更改。

(3) 故障定位

1) 根据保护动作时间, 确定同一时间段(动作时间误差, 小于50 ms)有多少套保护动作。从时间基准线开始; 50 ms可以调整。

2) 根据母线、线路、变压器等元件故障后保护动作的情况, 设定不同的故障点判定规则。

① 仅有单个元件的相关保护动作, 确认该元件发生故障。

② 若有多个元件的保护同时动作, 某一个元件动作套数多者, 被认定为故障元件。

③ 若有多个元件的保护同时动作, 且这些元件的保护装置均动作, 被认定为多元件故障。

(4) 故障识别

1) 根据故障元件和保护关联关系, 动作的保护认为是正确动作, 不动作的认为是拒动。

2) 与故障元件无关的保护同时动作, 认为是误动。

3) 与故障元件无关且保护动作时间高一个时间级差(150 ms, 可人工设定)的保护装置, 认为是越级正确动作。

- 4) 属于故障停电范围内与故障元件无关且不动作的保护, 认为是正常运行的无关联保护。
- 5) ABC三相中以相数多者认为是正确的, 其他不同相认为是误选相。
- 6) 其他未列情况, 暂由人工分析确认。

3 故障分析实现

基于上述分析原理及方法, 设计故障分析流程如图1所示。通过下述11个步骤, 完成故障综合分析。主要分析动作元件列表、动作时间、故障时间、故障类型、故障设备、故障电流及故障持续时间等。

1) 由程序定时扫描或者手动触发从能量管理

系统 (Energy Management System, EMS) 获取 SOE数据。

2) 由事件顺序记录 (Sequence Of Event, SOE) 信号获取动作开关及主保护并从报信系统获取保护动作事件。

3) 以上述设备为检索条件从保信系统里查找录波 (录波开始时间和SOE时间误差允许在2 min内)。

4) 从录波文件提取动作元件^[4], 结合有效的开关通道配置表, 把录波数据文件所有的开关通道数据跟配置表里的动作元件进行匹配, 并判断通道跳变情况。把满足条件的动作元件记录到动作元件动作明细表。

5) 获取通道动作时间, 在录波数据文件里, 查

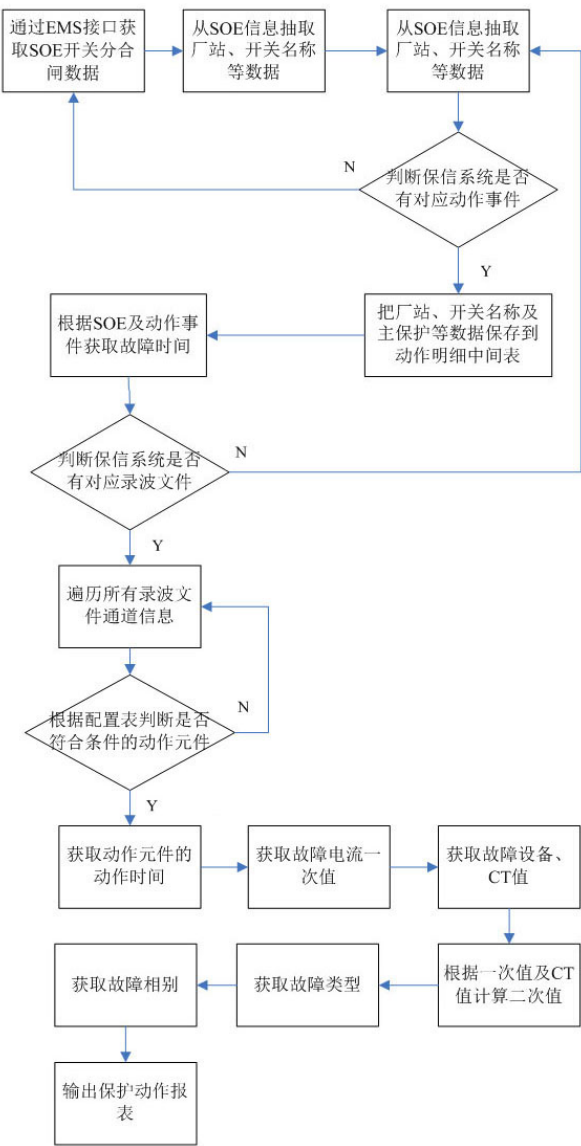


图1 故障判断流程图

找到动作明细表里的所有开关通道数据，把各通道开始跳变的时刻减去横向坐标为零的时刻，得到开关通道的动作时间。即动作时间 = (开关通道开始跳变时刻 - 横向坐标为零的时刻) / 1000。

6) 从保信系统里获取厂站在这个时间段的保护动作事件做为分析源，对其开关及主保护的動作事件时间进行排序，把最先动作的事件时间作为保护的故障时间。

7) 根据故障类型的判断规则，判断故障类型（主要判断单瞬和单永故障）。

8) 从CT配置图管理模块的数据表对厂站名称及开关名称进行匹配，获取一次设备名称以及CT元件的CT变比值。

9) 从录波数据海量的开关通道抽取A相、B

相和C相的通道数据，并且判断在录波采样的时间段内此三相的通道数据变化情况，并以此判断故障相别。

10) 获取故障电流一、二次值，取故障前或第一个周波的实际值，通过复氏算法得到二次值，用二次值乘于CT变比得到一次值。

11) 通过指定算法计算初次故障持续时间。

4 实际工程应用

结合南方电网故障信息综合分析系统的建设，主要对常见的故障信息、故障点等信息进行判断和计算。完成保护动作报表生成、保护动作顺序展示、故障影响范围全景展示及SOE信息判断等工作。主要完成工作如图2~图5所示。

报表单位：超高压柳州局		填表人：辜恒亮			审核人：黄敬贤		上报日期：2012年5月13日	
厂站名称	来宾变	故障设备	逢来线		故障时间	2012年5月13日 02时21分09秒		
		电压等级	500kV		故障原因			
故障相别	C	故障类型	单相瞬时		故障情况	单相故障重合成功		
故障持续时间		初次故障	63ms		故障电流	二次值	7.91A	
		合于故障	—ms			一次值	23.73kA	
录波情况	完好	故障测距	主一	0.3km	主二	0.3km	主三	km
			录波	0.34km		行波	km	
保护名称	保护型号	动作元件	功能分类		动作时间（ms）	动作情况	备注	
主一保护	RCS-931DMM	工频变化量阻抗	主保护		4ms	跳C	故障初	
5002断路器保护	RCS-921A	重合闸	断路器保护		1460ms	重合闸	跳闸后	
总出口							1次	
初步分析结论：录波完好，保护正确动作 11 次，误动 0 次，拒动 0 次。								
保护不正确动作原因：无								
下一步需开展的工作及拟采取的措施：无								

图2 保护动作报表

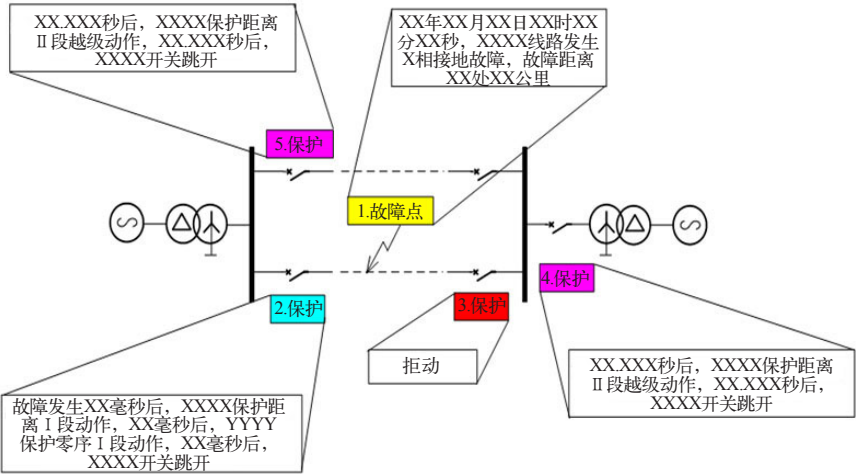


图3 保护动作顺序

序号	记录时间	事故名称	详细情况	SOE开关	SOE时间	状态	EMS开关变位	SOE时间与保信动作时间差	保信开关	保信时间	保信事件	保信主保护事件
1	2012-5-2 2 0:00:00		八河变	5031	2012-05-2 2 01:55:16 177	分闸	2012年05月22日01时55分16秒17 7 八河变 5031 500kV 分闸 (SOE) (接收时间 2012年05月22日01时55分17秒)	FSL-603GW:-823MS BGS-902DFZ:29MS BGS-931DMM:29MS 断路器:-636MS	5031	2012-05-22 0 1:55:17 13	失灵重跳C相 动作	FSL-603GW:2012/5/22 1:55:17 0/ 差动保护I启动 动作 BGS-902DFZ:2012/5/22 1:55:16 1 48/C相跳闸 动作/I变变化量阻抗 动作/光纤纵联差动动作 动作/光纤纵联零序方向 动作/距离I段 动作 动作 BGS-931DMM:2012/5/22 1:55:16 1 48/电流差动保护 动作/跳C 动作
2				5031	2012-05-2 2 01:55:17 201	合闸	2012年05月22日01时55分17秒20 1 八河变 5031 500kV 合闸 (SOE) (接收时间 2012年05月22日01时55分17秒)	断路器:188MS	5031	2012-05-22 0 1:55:17 13	失灵重跳C相 动作	
3				5032	2012-05-2 2 01:55:16 178	分闸	2012年05月22日01时55分16秒17 8 八河变 5032 500kV 分闸 (SOE) (接收时间 2012年05月22日01时55分17秒)	FSL-603GW:-822MS BGS-902DFZ:30MS BGS-931DMM:30MS 断路器:-619MS	5032	2012-05-22 0 1:55:16 997	综重电流启动 动作	

图4 事件顺序记录

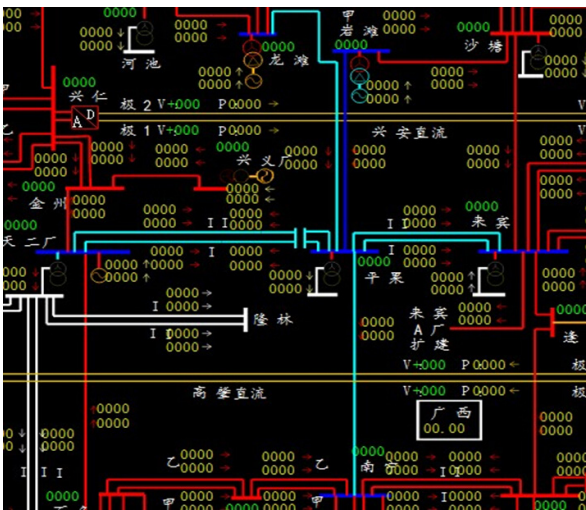


图5 保护动作影响范围

5 结束语

本文提出了一种电力系统故障综合分析方法。对故障综合分析的算法及核心问题进行了研究。分析保信主站中的装置报文信息，提取保护动作报告作为故障分析的触发点。分析内容包括：解析和故障线路或设备相关的各种保护装置动作行为，分析故障发展过程，断路器动作情况等。系统显示各装置故障录波图形，提供手工或自动定位故障起始时刻的功能，并可据此起始点输出保护动作情况报表。本系统的建设为保护专

业人员进行故障分析时提供了辅助支撑手段，减少了故障分析时间，为调度专业人员事故处理提供了辅助决策手段，具有很高的推广应用价值。

参考文献

[1] 刘志超, 黄俊, 承文新. 电网继电保护及故障信息管理系统实现[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(1): 72-75.

[2] 高翔, 张沛超, 章坚民. 电网故障信息系统应用技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.

[3] 陈春, 王业平, 崔毅民. 电网故障信息系统中的故障分析与判断[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(19): 97-100.

[4] 姜健宁, 章坚民. 电网故障信息系统的一次故障建模与识别[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(16): 51-56.

作者简介

胡超 (1981-), 男, 硕士研究生, 工程师, 研究方向为电力系统自动化。

高宏慧 (1979年-) 山东东平, 硕士研究生; 研究方向为电力系统继电保护运行管理。

(收稿日期: 2015-12-10) **EA**
(编辑: 杨得润)