

# 开展延伸分析 确保电网安全

赵自刚, 赵春雷

(河北电力调度通信中心, 河北 石家庄 050021)

**摘要:** 总结了河北南网数年来重视继电保护正确动作后的延伸分析, 并指出其是较好地保障电网安全稳定运行的一种做法。提出“故障”是一笔日益减少的稀缺“资源”, 充分利用故障资源, 检验分析继电保护可能存在的隐患, 及时采取有效措施解决发现的问题, 将对保障电网的安全稳定运行发挥积极的作用。

**关键词:** 继电保护; 故障分析; 隐患; 电网

**中图分类号:** TM77 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-4897(2005)10-0066-04

## 0 引言

广大继电保护工作者历来重视保护动作行为的分析, 在某种意义上讲, 可以说正是在不断总结事故经验和教训的过程中才促进了继电保护原理的发展、制造技术的进步和运行管理水平的提高。为此, 原水利电力部曾于1987年11月颁布了《电力系统继电保护和安全自动装置评价规程》, 并编制了与该规程配套的统计分析程序。1997年, 国调中心又组织对原评价规程进行了修订, 形成了目前仍在执行的《DL/T 623 - 1997 电力系统继电保护及安全自动装置运行评价规程》。

在实际工作中, 人们通常都很重视对继电保护不正确动作的分析, 按照“三不放过”<sup>[1]</sup>的原则, 力求通过事故分析, 找出导致保护不正确动作的确切原因, 并采取对策, 制定反措, 以防止类似事件的再次发生。这主要是因为继电保护动作的正确与否直接关系到设备的安全和电网的安全。但对继电保护正确动作, 特别是及时有效切除故障后的深入分析, 人们往往做得不够, 甚至有所忽视。

## 1 及时有效切除故障后的保护动作报告深具分析价值

在模拟式保护时代, 保护装置在完成某种逻辑判断后, 只能通过面板上的信号灯提供装置中的某个功能或某个元件曾否动作的信息, 无法再直接提供诸如保护动作时刻的电流、电压、保护的動作过程、保护装置开入开出的变位情况等对分析保护的動作行为至关重要的信息<sup>[2]</sup>。而在全面采用微机型保护和微机型故障录波器的今天, 我们可以从保护的启动报告、动作报告和录波图中方便地获得较之以往丰富得多的信息。

在实践中, 我们感到并非只有不正确动作才有分析价值, 正确动作后的报告中也有许多很有“价值”的东西。事实上, 在保护及时有效地切除故障后, 收集所有在故障中启动和动作的继电保护和故障录波器的报告, 对从报告中获得的信息进行综合分析, 大有“文章”可做。通过分析, 可以及时发现隐患, 并将其在“未遂”状态消除, 从而使继电保护更好地履行保障电网安全的使命。

数年来, 我们按照这样的思路认真收集和分析电网故障时的保护动作及相关启动报告, 从中确实发现并消除了一些事故隐患。下面略举几例说明。

### 1.1 事例一: 2000年7月, 某220 kV线路C相故障

这是一个保护正确动作, 但从报告中发现异常信息的事例。

2000年7月27日, 某220 kV线路发生C相接地故障, 线路两侧配置的保护(WXB-11 + YBX-1、LFP-901B + LFX-912)正确动作, 跳开C相开关。在等待重合期间, 该线路又发生B相接地故障(距C相发生故障705 m s), 两侧保护再次动作, 开关三相跳闸, 不再重合(单重方式)。后线路强送成功。

该次故障中, 两侧保护的動作行为本身完全正确。但在查看保护动作报告时发现: 强送线路时, 置于“单重”方式下的WXB-11保护发出了一个“重合闸出口”命令。虽然对保护的動作行为并无影响(录波图显示, 由于操作箱内一次充放电回路发挥作用, 该重合命令实际并未动作于开关), 但却是一个不应有的動作信息, 不能掉以轻心。

下面是当时保护打印出的报告:

```
* * * CPU4  
20 BTQDCH (不对应起动重合闸)  
479 CHCK (重合闸出口)
```

根据该保护重合闸部分的软件框图, 分析其原

因可能是:

1) 保护的“1n49三跳位置”开入量未接或有问题。如果该开入量接线正确,则保护的重合闸在开关三相断位期间不会充满电,更不可能发出重合令。

2) 保护的“1n43断路器位置不对应”开入量中, KK把手接点的使用不当。当 KK打在“预合”位置时,该开入量即已有效,会过早启动重合闸。

事故后的现场检验证实了上述分析。

后经了解,设计即是如此。原因是: 该保护所用操作箱没有足够的表示开关三跳位置的触点; KK把手没有“合闸/合后通”的触点。

WXB-11型保护设置“1n49三跳位置”开入量,其目的是为了防11保护发单跳令,但开关由于其它原因三相跳闸时,误发重合闸命令,造成非同期合闸。因此,11型保护的“三跳位置”开入量必须接入。由此消除了一个隐患。

### 1.2 事例二: 2002年7月17日,某220 kV线路B相故障

这是一个保护及时有效切除故障,但通过研究保护动作报告,消除一重大隐患的事例。

2002年7月17日,某220 kV线路因狂风暴雨发生B相瞬时性接地故障,两侧保护正确动作,跳开B相开关,重合成功。37 s后,该线路再次发生B相瞬时性接地故障,两侧保护仍正确动作,跳开B相开关,并重合成功。

两侧保护配置及故障时的动作情况如表1和表2所示。

表1 第一次故障

Tab 1 The first fault

电厂侧		变电站侧	
CSL-101A	LFP-901B	CSL-101B	LFP-901B
7 GPQD	28 D <sub>++0++</sub> L01	7 GPQD	28 D <sub>++0++</sub> L01
30 GPIDZD	30 Z1	30 GPILCK	31 Z1
35 DICK		35 DICK	
		37 IZKICK	
		927 CHCK	888 CH

表2 第二次故障

Tab 2 The second fault

电厂侧		变电站侧	
CSL-101A	LFP-901B	CSL-101B	LFP-901B
7 GPQD	27 D <sub>++0++</sub> L01	7 GPQD	27 D <sub>++0++</sub> L01
23 DICK	23 Z1	30 GPIDZD	23 Z1
30 GPILCK		35 DICK	
		37 IZKICK	
		925 CHCK	890 CH

仅从保护动作的效果看,并无异常。但仔细研究保护的動作报告和录波图,发现有两处值得注意:

第一次故障中,电厂侧 CSL-101A型保护的纵联部分(专用载波、闭锁式)未见动作报告,并在启动30 ms后报出“GPIDZD”(高频通道中断)信息,变电站侧正确。

第二次故障中,电厂侧正确,变电站侧 CSL-101B型保护的纵联保护却未见动作报告,并在启动30 ms后也报出“GPIDZD”(高频通道中断)信息。

两次故障中的“收信输出”波形示意图如图1。

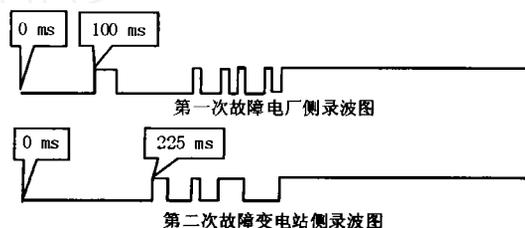


图1 波形示意图

Fig 1 Record waveform

缘何一次是电厂侧有问题,一次是变电站侧出问题,且两次的异常信息还完全一样?事情好像有点蹊跷。似乎不能简单地认为是 CSL-101的纵联保护动了,但未给出报告(以前的有的微机型保护确曾出现过保护动作,但报告丢失的现象)。

综合分析 CSL-101型保护的動作报告和故障录波报告认为:如果纵联保护没动,则可能是与 CSL-101保护配合使用的高频收发信机在故障发生后的30 ms内“收讯输出”触点没有闭合(第一次故障电厂侧100 ms后、第二次故障变电站侧225 ms后收发信机的“收讯输出”触点才闭合,且有抖动现象,而正常情况下应在故障发生后15 ms内闭合),从而导致 CSL-101型保护的纵联部分未能动作。

经专业人员现场检验,证实了上述分析。分别查出并及时消除了收发信机电源插件配置错误和“收信输入”回路中高频接收滤波器调节电感的磁芯粘接不牢、有松动的缺陷(稍有震动就会造成滤波器调谐频率不稳定,使得收信回路既收不到本侧信号、也收不到对侧信号)。

### 1.3 事例三: 2004年1月15日,某电厂—220 kV开关A相故障

这是保护及时有效切除故障,但通过认真分析保护動作报告,发现设计缺陷的又一个事例。

2004年1月15日,某电厂(双母接线)的一条220 kV出线准备停电消缺。电厂侧拉开开关2.9 s后,发生故障。电厂侧的220 kV母差保护、对侧的线路保护动作,跳开A相开关,重合不成功,三跳。

综合分析保护和录波装置的报告,认为故障点在

开关线路侧断口与 CT 之间 (开关断位),故障电流只由变电站通过线路提供,电厂的 220 kV 母线并未直接向故障点提供故障电流,但故障点在电厂的 220 kV 母差保护范围内。开关解体检查证实了这一判断。

继电保护及时有效地切除了该次故障。但查阅保护动作报告发现:变电站侧的线路保护仅有零序段的动作报告,未见到双重化配置的纵联保护(闭锁式专用载波)动作报告。

按保护的正常工作逻辑,对上述故障,变电站侧的两套纵联保护均应动作。虽然电厂侧的“开关位置停信”此时不起作用(原因:电厂侧拉开开关时,两侧保护启动,两侧纵联保护一直发信,已经超过了“位置停信”的有效作用时间,电厂侧已经进入“通道测试”中的“本侧发 10 s 过程”;另外,电厂侧保护在故障时感受为反方向,不停信),但电厂侧的“母差保护动作停信”回路应动作于停信使保护动作。

事后查证,电厂侧由于进口保护屏上无国内典型的操作继电器箱(无永跳继电器),故设计中未接入“母差停信”这一典型回路。现已消除此缺陷。

#### 1.4 2004年1月23日,220 kV 许营站两条母线相继故障

这是一个保护正确动作且及时有效切除故障,但通过对保护动作报告的延伸分析,发现其它重大问题的事例。

2004年1月23日,因大风将一内覆金属膜的编织物刮至母线刀闸处,造成某变电站的 220 kV #1 母线 B 相、#2 母线 A 相相继(相距 285 m)发生接地故障。改造后刚投入运行 15 天的 RCS-915 微机母线保护正确动作(原为 SMC 型),快速切除了故障,减轻了故障点损坏程度,保证了电网安全。

分析录波图和母线保护动作报告发现:保护正确动作,未见异常,但母联开关切除故障电流较慢。其它间隔开关的故障电流持续时间均在 50 ms 左右,而母联开关的故障电流却持续长达 90 ms。

理论上讲,母线发生接地故障时,如果母联开关切除故障电流较其它开关慢,有可能引起连接非故障母线的线路对侧的零序电流段保护误跳闸,从而将一类障碍扩大为电厂或变电站(双母线接线)全停的电网事故。

虽然经验算,本次故障中连接非故障母线的线路对侧的零序电流段在其它开关跳开而母联仍带故障点时均未达到定值,但潜在危险不容忽视。

事故后,针对母联开关跳闸慢的问题,我们组织检查了该站母联开关的操作回路。其跳闸继电器型

号为 YZJ1-5 型(阿城继电器厂,1974 年 8 月出厂)。该继电器样本动作时间为 50 ms,实测 48 ms (220 V)、62 ms (180 V)。而其它间隔开关跳闸继电器均为快速中间继电器,动作时间小于 10 ms,两者相差约 40 ms。也就是说,尽管母差保护同时向各开关发出跳闸命令,但母联 201 开关的跳闸线圈实际励磁较其它开关晚 40 ms,造成母联开关在本次母线故障中切除故障电流较慢,险些扩大事故。

进一步分析,除了跳闸继电器动作速度慢的原因外,还有一种情况也可能造成母联开关较其它开关晚切除故障,即母联为少油开关,而其它开关采用 SF<sub>6</sub> 开关(这种情况可能在老站因改造次序不同而出现)也存在上述风险。SF<sub>6</sub> 开关的分闸时间一般在 30 ms 以下,而少油开关的分闸时间可能在 60 ms 以上。假设母差保护动作后各间隔开关的跳闸脉冲同时发出,则母联和其它间隔开关的实际故障电流断开时间可能相差 30 ms 以上,也有可能造成连接非故障母线的线路对侧的零序电流段保护误跳闸,扩大事故。

针对这一问题,事故后我们就下述两个问题在河北南网进行了全面核查。一是,检查各厂站母联开关的型号和其操作继电器的动作时间,发现确有 14 个厂站有上述问题。二是,在正常方式下校核计算,发生母线故障,母联开关切除速度比其它开关慢时,连接非故障母线线路对侧零序电流段保护的可靠系数。发现有 8 个厂站存在零序电流段定值的可靠系数低于规程要求(1.3)的问题。对此,我们已制定改造方案,正在落实,又将消除一个重大隐患,提高了电网抵御事故的能力。

## 2 故障数据是一笔深具利用价值的珍贵资源

“九五”以来,通过“继电保护管理年”、“继电保护五查”、“六复核”等工作,以及全面落实《电力系统继电保护及安全自动装置反事故措施要点》,努力实现国调中心提出的“九五”、“十五”继电保护工作目标,继电保护工作有了长足进步,继电保护的不正确动作大幅度减少,继电保护正确动作率稳步提高。2002 年,全国 220 kV 及以上系统继电保护装置的正确动作率已达到 99.09%,需要对继电保护不正确动作行为进行分析的情况并不很多。但通过前述事例可以看出,仅对保护的不正确动作进行分析是远远不够的。

从上世纪 80 年代末,±500 kV 葛沪直流输电工程将华中-华东两大电网联系起来,我国开始超

高压跨大区联网,到目前为止,除西北、南方电网,以及部分省网外,我国已经形成了覆盖 19个省、市、自治区,装机容量超过 2 亿 kW 的超大型全国互联电网。特别是随着 2003 年 9 月华北电网与华中电网联网启动调试成功,标志着继 2001 年华北电网与东北电网实现联网之后,我国又一次以交流方式实现跨大区电网互联,全国电网联网工程已经进入超大规模电网联网阶段,华中、华北、东北、川渝电网实现交流互联,形成一个北起内蒙的伊敏、南至四川的二滩,地跨 14 个省、市、自治区,装机容量超过 1.4 亿 kW,南北距离超过 4 600 km 的超大规模同步交流系统。“西电东送、南北互供、全国联网”的格局已经初步形成。到 2005 年,全国电网装机容量将达 4 亿 kW,并将最终实现西电东送、南北互供、全国联网,从而实现全国范围内的资源优化配置。

在这种形势下,继电保护,特别是枢纽厂站的不正确动作所产生的影响将较以往更加难以估量,保障电网安全的责任更加重大。历史的经验不断表明,继电保护及电网安全自动装置是保障电力设备安全和防止及限制电力系统长时间大面积停电的最基本、最重要、最有效的技术手段。继电保护一旦不能正确动作往往会扩大事故,酿成严重后果。

随着设备可靠性管理水平的提高,防污闪力度的加大,国家对环境污染的治理,特别是大气环境的改善,以及一次设备的制造水平和基础材料工业的进步,电力设备故障的绝对次数在不断减少,靠“故障”暴露继电保护问题的机会越来越少,而且随着电网规模的不断扩大,暴露问题的“成本”也将越来越高。因此,从经济学的角度可以说“故障”是一笔日益减少的稀缺“资源”。上述经验表明,充分利用故障资源,对每一次故障中所有启动的继电保护和录波装置,不论正确与否都进行认真分析,用难得的实际故障数据检验分析继电保护可能存在的隐患,对发现的问题及时采取有效措施解决,将对保障电网的安全稳定运行起积极的促进作用,而且简便易行,“成本”低廉。

### 3 结论

“亡羊补牢,犹未晚也”,说的是出了问题应该

尽快采取有效措施,以防止事态的进一步发展,并防止类似事件的再次发生。但也不能都在出了问题后才去堵漏,毕竟“电力安全事关国家安全和社会稳定大局,安全可靠的电力供应对于保持社会稳定和促进经济发展具有十分重要的意义”<sup>[3]</sup>。

在 220 kV 及以上系统继电保护正确动作率已达到 98.5% 以上,以及继电保护的大规模更新改造、全面落实各类“反措”、加强人员培训取得明显成效的基础上,如何继续稳步提高继电保护正确动作率,更好地保障电网安全是我们继电保护工作者必须研究的问题。对保护正确、及时、有效地切除故障后的信息进行延伸分析,做到防患于未然,并形成规范化的工作制度,建立常态机制,是一个很好的措施。

电网规模在不断扩大,而“故障资源”却日益减少,我们应该充分利用“故障资源”进行继电保护动作后的延伸分析,努力减少“资源”流失,以提高继电保护工作质量,提高继电保护工作人员的技术水平,提高继电保护的运行管理水平,更好地保障电网的安全稳定运行。

### 参考文献:

- [1] DL408-91,电业生产事故调查规程[S]. DL408-91, The Code of Investigation for the Electric Power Production Accidents[S].
- [2] 赵自刚,黄少锋. 扩充微机保护功能[J]. 电力系统自动化,1998,22(4):61-63. ZHAO Zi-gang, HUANG Shao-feng Extension to the Functions of Microcomputer-based Protective Relay[J]. Automation of Electric Power Systems,1998,22(4):61-63.
- [3] 国家电力监管委员会安全生产令[Z]. Safety Production Command of State Electricity Regulatory Commission[Z].

收稿日期: 2004-09-01

作者简介:

赵自刚(1962-),男,教授级高工,多年从事电网及继电保护的运行管理工作;E-mail: zzg@hbpc.com.cn

赵春雷(1968-),男,高级工程师,多年从事继电保护的整定计算与运行管理工作。

Security of power systems based on extended analysis of fault resource

ZHAO Zi-gang, ZHAO Chun-lei

(Hebei Electric Power Dispatching and Communication Center, Shijiazhuang 050021, China)

(下转第 74 页 continued on page 74)

tion Level of AGC Systems for Thermal Generation Units  
[J]. Power System Technology, 2002, 26(6): 73-76

[8] 张锋, 吴劲晖, 张怡, 等. 基于负荷趋势的超短期负荷  
预测方法 [J]. 电网技术, 2002, 28(19): 64-67.

ZHANG Feng, WU Jin-hui, ZHANG Yi, et al A Novel  
Ultra-short Term Load Forecasting Based on Load Trend  
[J]. Power System Technology, 2002, 28(19): 64-67.

作者简介:

张 锋 (1977 - ), 男, 硕士研究生, 从事电网调度自动  
化及电网安全分析方面的工作; E-mail: zhang\_feng @ dc  
zpepc.com.cn

张 怡 (1978 - ), 女, 助教, 主要从事计算机技术在电  
力系统中的应用与教学工作;

赵 良 (1968 - ), 男, 工程师, 主要从事电力调度运行  
管理方面的工作。

收稿日期: 2004-09-07; 修回日期: 2004-11-25

### Current status and analysis about AGC in Zhejiang power grid

ZHANG Feng<sup>1</sup>, ZHANG Yi<sup>2</sup>, ZHAO Liang<sup>1</sup>

(1. Zhejiang Electric Power Dispatching and Communication Center, Hangzhou 310007, China;

2. Professional & Technological College of Zhejiang Electric Power, Hangzhou 310015, China)

**Abstract:** Based on the actual situation of the automatic generation control(AGC) in Zhejiang power grid, the basic principle and configuration of AGC of Zhejiang power grid are introduced. And various problems of the functional AGC system in Zhejiang power grid are summarized and analysed. Finally, some methods and suggestions of AGC in Zhejiang power grid are proposed from the points of management and technology.

**Key words:** Zhejiang power grid; automatic generation control(AGC); countermeasure

(上接第 65 页 continued from page 65)

[10] Communication Networks and Systems in Substations, Part  
7-4: Basic Communication Structure for Substation and  
Feeder Equipment-Compatible Logical Node Classes and  
Data Classes[Z]. 2000

[11] 高湛军, 潘贞存, 卞鹏, 等. 基于 IEC 61850 标准的微机  
保护数据通信模型 [J]. 电力系统自动化, 2003, 27  
(18): 43-46

GAO Zhan-jun, PAN Zhen-cun, BIAN Peng, et al A Data  
Communication Model for Microprocessor Based Protec-  
tion Based on IEC 61850 Standard[J]. Automation of E-  
lectric Power Systems, 2003, 27(18): 43-46

[12] Communication Networks and Systems in Substations, Part  
9-1: Specific Communication Service Mapping (SCSM)  
for Process Bus[Z]. 2000.

收稿日期: 2004-11-10; 修回日期: 2005-01-26

作者简介:

陈丽华 (1972 - ), 女, 讲师, 硕士研究生, 研究方向为变  
电站自动化; E-mail: emqingyin@21cn.com

陈小川 (1963 - ), 男, 教授, 研究方向为电力系统及其  
自动化。

### Analysis of some cases on application of MMS in substation automation system

CHEN Li-hua<sup>1</sup>, CHEN Xiao-chuan<sup>2</sup>

(1. Dept of Electrical Engineering, Emei Southwest Jiaotong University, Emei Mountain 614202, China;

2. College of Electrical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdou 610031, China)

**Abstract:** IEC61850 is the latest standards on communication networks and systems in substations made by IEC in which communication between substation level and bay level is mapped to MMS. This paper analyses some cases on application of MMS in substation automation system and puts forward an solution for substation automation devices unsupport standards of MMS.

**Key words:** MMS; IEC61850; substation automation system; VMD

(上接第 69 页 continued from page 69)

**Abstract:** Extended analysis to ensure the security and stability of South Hebei Power Network is summarized through years of experience. The idea is to emphasize the extended analysis on correct operations of protective relay besides incorrect ones. It is a effective way to make full use of the fault resource, analyze thoroughly the possible hidden trouble of protective relay, and finally take measures to solve the problems. All these efforts will play a positive role on the safety and stability operation of power grids.

**Key words:** protective relay; fault analysis; hidden trouble; power network