

# 大容量强电流开关试验站运行影响与事故分析

对国内外开关试验站的建设情况进行对比综述,选择新建的平高集团有限公司大容量强电流试验站展开详细介绍,并以该试验站为例采用ADPSS平台进行混合仿真计算,计算内容包括:电压暂降、暂态电流和负序电压/电流,从而分析平高试验站各种试验条件可能对电力系统造成的影响。最后,结合一起因A-D采样模块故障引起的跳闸事故对试验站的建设运行提出相关的建议。

武振宇 胡军台 周志锋 邢文涛/国网平顶山供电公司

## 0 引言

开关试验站主要用于考核断路器开断与关合性能和隔离(接地)开关的动热稳定性能,检验断路器和隔离(接地)开关结构设计、制造工艺及材料选择正确合理性,可用于新产品研究、试制以及型式试验。目前,在国际上较为权威的试验站有:荷兰KEMA断流容量试验站、意大利中央电工研究所网络试验站(CESI)以及日本的五大短路试验站等,其中KEMA断流容量试验站是一

个商业性的试验研究机构,是世界上装机容量最大、直接试验能力最高的权威性强电流试验站,其进行的开关型式试验报告已获得国际认可。CESI位于意大利北部米兰,也是世界著名的强电流断流试验站,二者都是国际短路试验联盟(STL)成员。国内相关研究起步较晚,技术较为成熟的研究院(所)有:西安高压电器研究所(XIHARI)、沈阳高压开关厂强电流试验室、沈阳变压器研究所虎石台试验室以及中国电力科学研究院开关所等,上述单位都是中国大容量试验联盟(CHPTL)成员,已代表中国申请加入STL,具体相关内容的对比如表1<sup>[1-5]</sup>所示。除此之外,2013年新建的平高集团有限公司大容量强电流试验站(简称平高试验站)也开展了一系列的研究工作,本文将以此站为例介绍大容量强电流试验站的运行影响与事故跳闸分析。

表1 国内外大容量强电流试验室对比分析表

| 试验站名称             | 试验电压等级/kV | 试验对象         | 试验电源   | 试验容量/MV·A | 所属国家 |
|-------------------|-----------|--------------|--------|-----------|------|
| 雷纳第(EDF)          | 765~1500  | 断路器、变压器      | 发电机/电网 | 9 500     | 法国   |
| 日本国分工场            | ≤1 200    | 断路器、配电变压器    | 发电机    | 2 500     | 日本   |
| 东芝公司滨川崎工场         | ≤550      | 变压器          | 发电机    | 6 600     | 日本   |
| 荷兰KEMA            | ≤760      | 断路器、变压器      | 发电机    | 3 000     | 荷兰   |
| 意大利CESI           | ≤400      | 断路器、变压器等整套设备 | 电网     | 3 000     | 意大利  |
| 西安高压研究所强电流试验室     | ≤220      | 断路器为主        | 发电机    | 6 500     | 中国西安 |
| 北京电力科学研究院强电流试验室   | ≤0.5      | 断路器为主        | 电网     | 60        | 中国北京 |
| 华通开关厂强电流试验室       | ≤40.5     | 断路器为主        | 电网     | 2 800     | 中国上海 |
| 沈阳变压器研究所虎石台强电流试验室 | ≤1 000    | 变压器为主        | 电网     | 10 000    | 中国沈阳 |

### 关键词/Keywords

大容量·  
强电流·  
开关试验站·  
电压暂降·  
暂态电流·  
负序电压·  
事故跳闸·

## 1 平高试验站简介

平高试验站是以电网为电源大容量强电流试验站,自建220 kV自备变电站,自备变电站采用线-变组接线形式,通过单回220 kV架空线路接入220 kV滢阳站,主要开展110 kV及以下电压等级高压开关产品(隔离开关、接地开关和断路器等)的动稳定、热稳定试验以及252 kV及以下断路器的故障关合、开断性能试验。设计最大额定开断短路电流50 kA,最大热稳定电流63 kA。

## 2 开关网络试验站对电网影响分析

开关网络试验站用于进行高压开关性能试验,主要试验为开关动稳定、热稳定、故障关合及开断试验。其负荷具有功率大、持续时间短的特点,具有冲击负荷属性。由于开关网络试验站对系统接入站点的负荷电量、设备容载比影响不大,而对电能质量、系统设备安全运行及相邻用户用电安全具有一定负面影响,因此本报告不进行常规的电力电量预测、平衡分析,重点研究冲击性负荷对系统的影响。主要体现在以下方面。

1) 冲击性负荷造成公共接入点及邻近变电站母线电压暂降。

2) 暂态过电流及负序电压/电流影响继电保护设备。

3) 负序电流影响邻近机组运行安全。

本节将对平高试验站接入系统方案进行机电-电磁混合仿真计算。计算内容包括:电压暂降计算、暂态电流计算及负序电压/电流计算。从而分析平高试验站各种试验条件可能对电力系统造成的影响。计算条件如下。

1) 平顶山供电区电源建设和负荷水平参考相关省网规划及“平顶山供电区十二五电网发展规划及2020年展望”。

2) 计算水平年选取2013年以及远景2020年。

3) 2013水平年分别考虑系统大开机大负荷方式和小开机小负荷方式,

负荷功率因数取0.95,发电机组功率因数取0.85~0.9;远景2020水平年考虑平顶山电网小开

机方式(滢阳站短路容量较小)。

4) 采用ADPSS平台进行混合仿真计算。对重点研究的系统:滢阳变电站及其110 kV供电区、平高试验站采用电磁暂态仿真,对华中电网其他区域采用机电暂态仿真。

5) 对于具体试验项目中的“合闸、重合闸和合分”等操作,在仿真计算中均以开关“合-故障-分”操作来模拟,故障形式分别为三相短路和两相短路。

6) 仿真计算中开关动稳定试验峰值电流为125/157.5 kA、热稳定试验电流有效值为50/63 kA;试验电压分别设置为3.5 kV、6 kV、7.5 kV、9 kV和12 kV,考核不同电压等级试验对系统的影响。

7) 开关故障合闸、开断试验电压设置为12 kV,故障开断电流有效值分别为50 kA、45 kA、37.5 kA、30 kA、15 kA和5 kA。

8) 短路变压器类型及参数参考沈阳虎石台试验站及中国电力科学研究院试验站短路变压器参数。采用单相两绕组变压器,接线方式采用D/D。主要参数如下:额定容量150 MV·A;额定电压230/12 kV;短路阻抗4%。

根据平高试验站设计试验能力、在2013年及2020年全国联网背景下采用机电-电磁混合仿真算法进行如下仿真计算:动稳定试验第一周波峰值电流125/157.5 kA;电压3.5 kV、6 kV、7.5 kV、9 kV和12 kV;故障形式分别为三相短路和两相短路。

热稳定试验电流(有效值)50/63 kA;电压3.5 kV、6 kV、7.5 kV、9 kV和12 kV;故障形式分别为三相短路和两相短路。

故障开断、关合试验电流(有效值)50 kA、45 kA、37.5 kA、30 kA、15 kA和5 kA;电压12 kV;故障形式分别为三相短路和两相短路。

以下为部分具有代表性的母线电压、输电线路电流电磁仿真结果。

1) 2013年动稳定电磁仿真结果(试验电压12 kV,第一周波峰值电流157.5 kA,三相短路,故障时间0.3 s),如图1~图6所示。

2) 2013年动稳定电磁仿真结果(试验电压

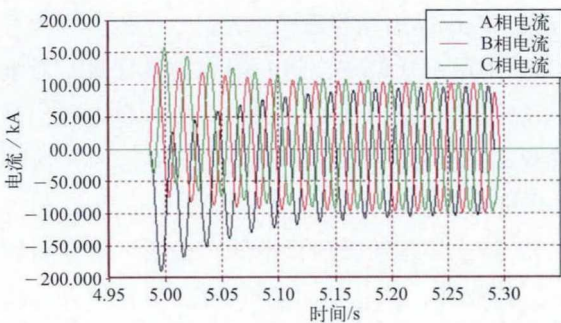


图1 动稳定试验（三相短路）平高试验站12 kV侧故障电流

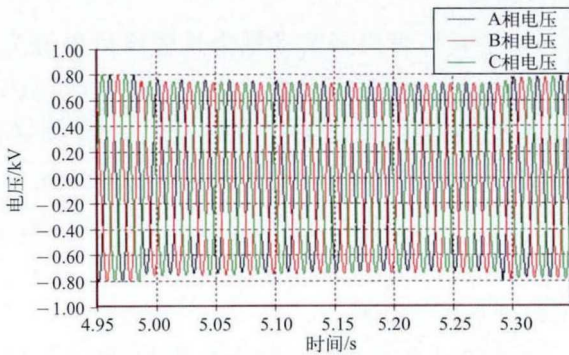


图2 动稳定试验（三相短路）姚孟电厂220 kV母线电压

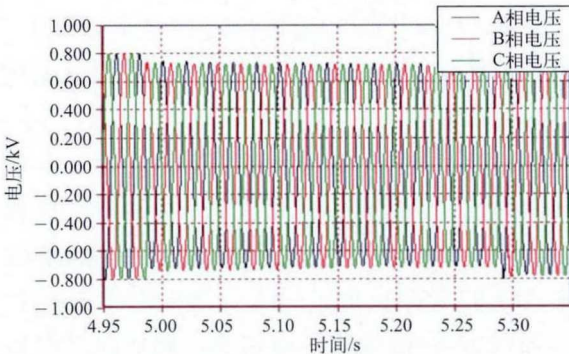


图3 动稳定试验（三相短路）淮阳站220 kV母线电压

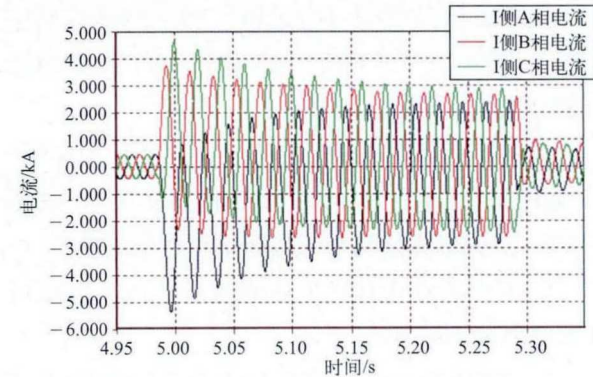


图4 动稳定试验（三相短路）220 kV姚孟 - 淮阳线路电流

12 kV，第一周波峰值电路157.5 kA，两相短路，故障时间0.3 s），如图7～图12所示。

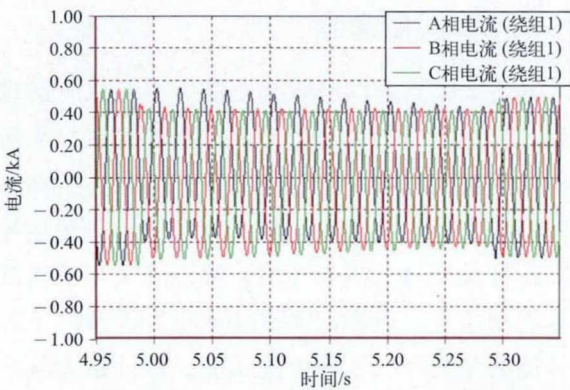


图5 动稳定试验（三相短路）淮阳1#变压器220 kV侧电流

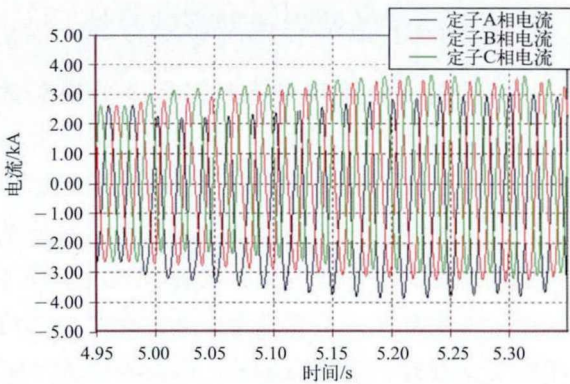


图6 动稳定试验（三相短路）姚孟3#机组定子电流

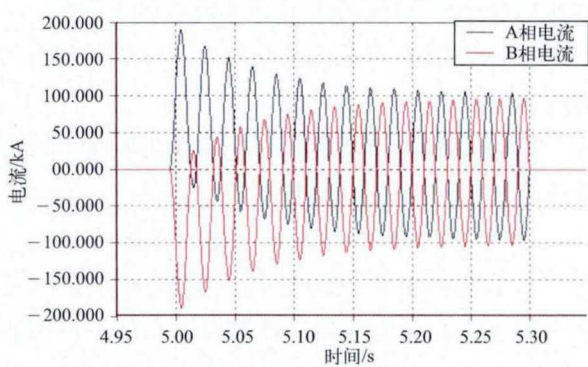


图7 动稳定试验（两相短路）平高试验站12 kV侧故障电流

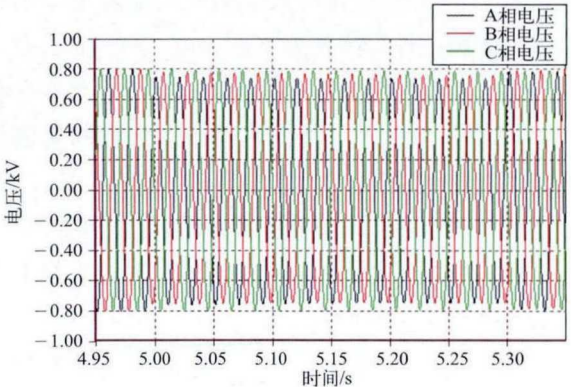


图8 动稳定试验（两相短路）姚孟电厂220 kV母线电压

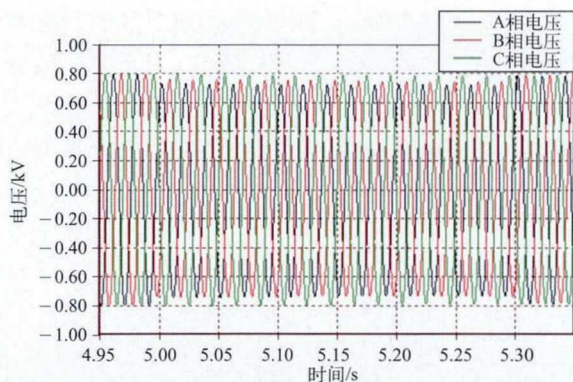


图9 动稳定试验(两相短路)滢阳站220 kV母线电压

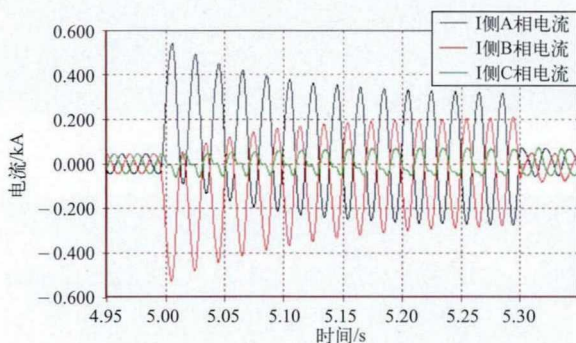


图10 动稳定试验(两相短路)220 kV姚孟-滢阳线路电流

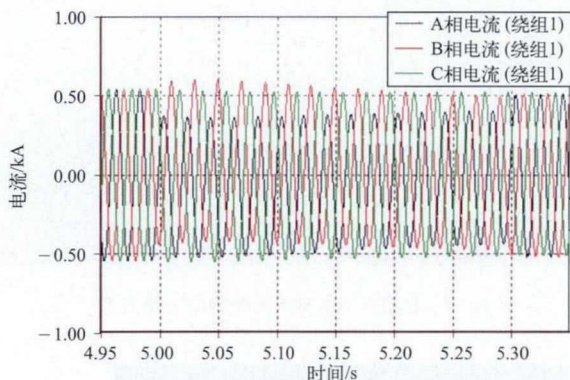


图11 动稳定试验(两相短路)滢阳1#变压器220 kV侧电流

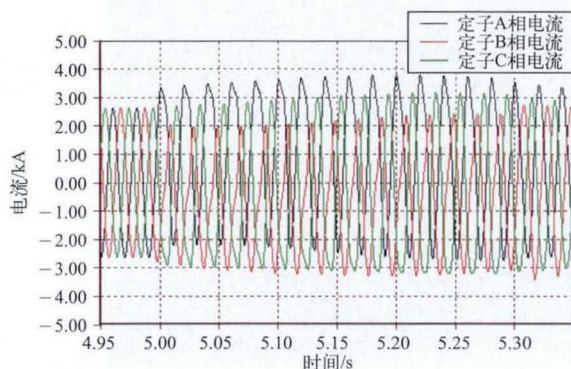


图12 动稳定试验(两相短路)姚孟3#机组定子电流

通过仿真波形,定量分析平高试验站运行产生的电压暂降、暂态电流、负序电压/电流对系统继电保护、发电机组及工业用户电动机的影响,结果如下。

1) 继电保护。平高试验站各类试验项目不会造成邻近系统设备线路保护、母线保护、主变压器保护和电容器保护动作。但是多数试验项目造成的暂态电流会导致临近220 kV输电线路保护的电流变化量起动,由于滢阳变电站各220 kV线路主保护均采用光纤电流差动保护,具有较高的安全性,不会影响系统安全运行。部分试验条件将造成滢阳220 kV母线负序电压大于定值,母线保护和失灵保护的负序电压元件均会开放。建议对开关动稳定试验、热稳定试验电压采用12 kV以下电压等级,减少对系统负序电压影响。

2) 邻近发电机组。平高试验站各类试验项目不会造成机组强励动作,注入机组的负序电流不会危及机组安全,机组负序过电流保护不会动作。

3) 邻近工业用户。2013年及2020年开关试验站各类试验所造成的滢阳站110 kV母线及临近110 kV变电站电压暂降均不超过15%,不影响邻近工业用户电动机运行。

### 3 事故跳闸分析

平高试验站自2014年投运至今,事故跳闸已达3次,每次均组织相关单位进行了事故分析,本文选取非常规故障导致的一次跳闸事故为例进行原因分析。

2015年7月2日凌晨1:00,平高试验站先后组织两次短路试验,短路容量分别为12 kV/40 kA 和 12 kV/50 kA。12 kV/40 kA试验正常结束后,在进行12 kV/50 kA短路试验过程中,1:05:36.614 滢科线第二套数字式PSL-603GM光纤差动保护三跳出口,滢科1、滢科2开关跳闸。滢科线第一套保护RCS-931保护起动,未出口。事故前运行方式如图13所示。

滢阳变电站滢科1开关在滢阳变电站220 kV北母运行,经滢科2、科1开关,带科源变电站(平

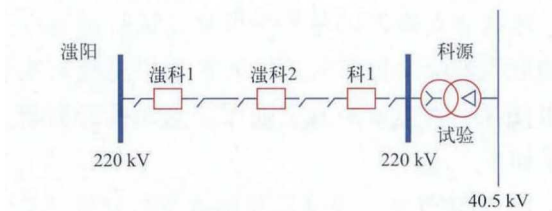


图13 滢阳变电站至科源变电站电网结构简图

高高压试验站) 运行。

### 3.1 初步分析

滢科线PSL603GM差动保护动作出口后, 对一、二次设备进行外观检查, 均无异常。本着“四不放过”原则, 调取各方设备信息。图14~图16为滢阳变电站装置打印录波报告。

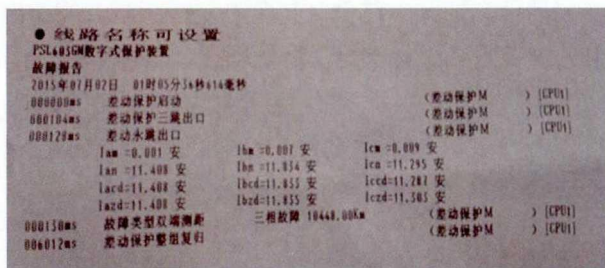


图14 滢阳变电站侧故障录波报告

平高试验站侧电流采样波形如图17所示, 从保护装置打印波形报告可以看出, 在平高侧试验初期, 滢阳变电站电流采样正常, 但在保护启动3个周波后电流采样突然消失, 电流值为零, 这直接导致约20 ms后差动保护跳闸出口。平高侧的保护录波显示, 电流波形是连续的, 在保护动作跳

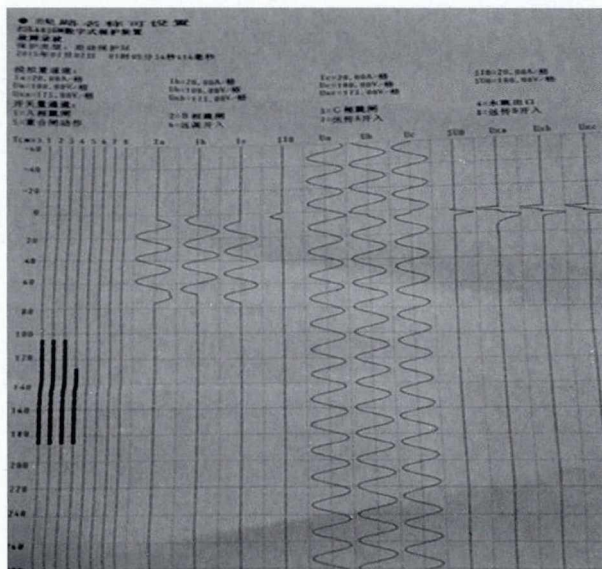


图15 滢阳变电站侧差动保护CPU故障录波图

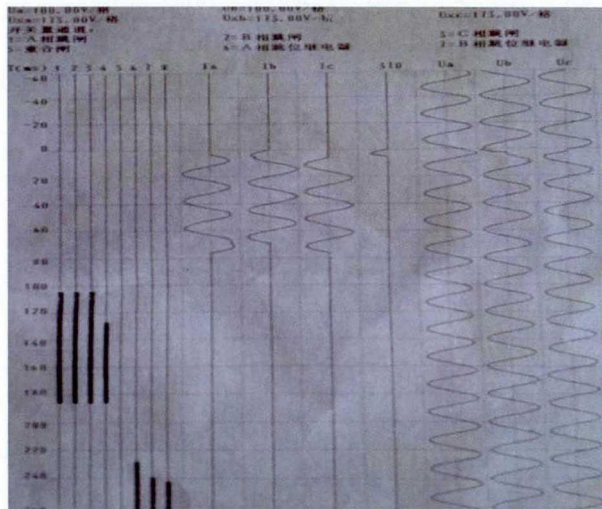


图16 滢阳变电站侧距离零序CPU录波图

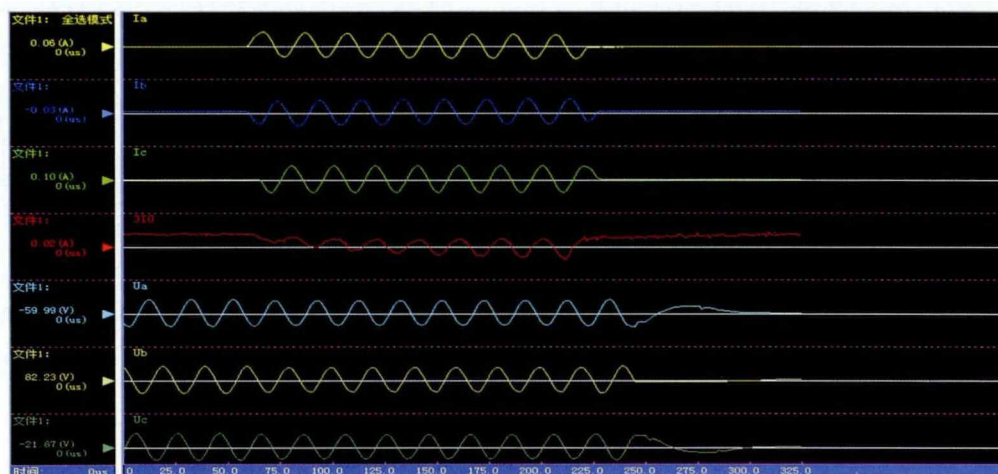


图17 平高试验站侧电流采样波形

闸前不存在电流采样间断的情况。

结合以上分析可知，PSL603GM差动保护动作逻辑正确。造成差动保护动作的原因为滢阳侧电流采样异常中断。对此，需要对滢阳侧电流采样异常中断作进一步分析，结合滢阳侧距离零序CPU的故障录波数据可知滢阳侧多个CPU电流采样数据一致，均异常中断。判断造成滢阳侧电流采样异常的原因可能为：①滢科线两端TA饱和或两侧P级和TPY级伏安特性及暂态特性不一致；②滢阳侧电流二次回路异常中断（包括装置交流模件和其所连接的TA二次回路）；③A-D采样异常中断。

3.2 原因确定

鉴于上述三种原因均有可能造成CPU电流采样数据异常中断，会同厂家人员进一步现场分析确认。

针对TA伏安特性原因，经河南电力科学研究院进行TA伏安特性10%误差曲线测试，测试结果TA伏安特性满足要求，排除该种可能。

针对二次回路原因，结合试验站之前的试验情况，科源变电站自2015年6月中旬送电之后，累计进行7次短路试验，如表2所示。

表2 科源变电站6~7月试验统计简表

| 时间         | 短路容量          | 次数 | 高压侧短路<br>电流/A | 保护动作<br>情况 |
|------------|---------------|----|---------------|------------|
| 2015年6月26日 | 12 kV/4.7 kA  | 1  | 256           | 无          |
|            | 12 kV/16 kA   | 1  | 872           | 无          |
|            | 12 kV/28 kA   | 1  | 1 527         | 无          |
|            | 12 kV/31.5 kA | 1  | 1 718         | 无          |
|            | 12 kV/40 kA   | 2  | 2 181         | 无          |
| 2015年7月2日  | 12 kV/40 kA   | 1  | 2 181         | 无          |
|            | 12 kV/50 kA   | 1  | 2 727         | 差动动作       |

在2015年7月2日差动动作前，0：38还做过1次三相40 kA短路试验。并且差动动作之前尚有3个周波的采样，之后采样突然消失。跳闸事件之后，河南电力科学研究院进行TA伏安特性10%误差曲线测试，结果显示TA二次回路正常，排除二次回路异常中断（包括装置交流模件和其所连接的TA二次回路）可能。

综合上述分析，PSL603GM差动保护动作逻辑正确。造成本次事故跳闸原因为滢阳侧电流采样异常中断，根本原因为A-D采样异常中断。厂家将可能造成A-D采样异常中断的装置AC采样插件和A-D转换插件予以更换，并确认更换后的装置具备投运条件，送电前国网平顶山供电公司又将滢阳变电站侧部分插件更换后的保护装置按照保护新装校验标准进行相关传动校验，确保送电正常。

4 结束语

本文对国内外试验站进行了介绍，并对国内最新投入运行的平高试验站进行了相关的电网影响分析。分析表明，在当前的运行方式下，试验站的正常工作对电网的影响有限，但随着电网的发展，若电网运行方式发生了变化，相应的影响需进行重新评估。

通过平高试验站的一次非典型事故跳闸的原因分析表明：试验站的跳闸原因是多层次和多方面的，除了已知的如线路故障、站内故障越级及TA饱和等原因外，还有二次设备插件的损坏也可能造成保护的误动，需从设备的生产质量、抗干扰能力等多方面进行预防，以避免类似事件再次发生。

参考文献

[1] 贺以燕. 法国高电压强电流试验室(一)[J]. 电力设备, 2005(9): 77-81.

[2] 贺以燕. 法国高电压强电流试验室(二)[J]. 电力设备, 2005(10): 83-85.

[3] 贺以燕. 虎石台强电流试验站(1)[J]. 变压器, 1995(5): 2-6.

[4] 贺以燕. 世界各国强电流试验室(一)[J]. 电力设备, 2004(7): 74-77.

[5] 贺以燕. 世界各国强电流试验室(二)[J]. 电力设备, 2004(8): 77-79.

(收稿日期: 2016-04-05) EA