

35kV 经港#2 所用变故障分析

黄 冰，李大雷

(江苏省电力公司检修分公司南京检修分部 江苏 南京 210041)

摘 要：本文对一起所用变四次故障原因进行了理论分析，并通过模拟切除电抗器的过程，检测过电压发现了设备故障的原因。

关键词：所用变；切除电抗器；过电压

1 故障情况

经港#2 所用变于 2008 年 7 月 3 日初次投运，生产厂家为常州特种变压器有限公司。出厂日期：2007-10-1；安 装 日 期：2008-6-18；型 号：SC10-250/37.5；出厂编号：07072501649。由于该厂家被省公司列为不可信单位，售后服务交由江苏华鹏变压器有限公司。从 2011 年 6 月 27 日到 7 月 6 日，该所变连续 4 次过流动作跳闸。

2 四次跳闸情况说明

2.1 第一次跳闸故障

2011 年 2 月 17 日，经港#2 所用变发生故障，经检查现场变压器中心位置地面下沉，变压器 C 相外壳由内向外呈烧焦状，部分外壳开裂；分接连板有烧蚀痕迹；电缆头无异常（见图 1、图 2）。高压侧直流电阻严重超标，直流电阻变化率超标，低压侧本次测量变化率同出厂相比变化较大，超过 2%，检查不合格。



图 1 #2 所用变故障图片



图 2 接头和分接开关图

向华鹏公司反映，对方提供一台大修后备用产品作为暂时使用，并将损坏的变压器运回华鹏公司。

2.2 第二次跳闸故障

2011 年 6 月 24 日，厂家提供一台新的所用变进行将备用的所变更换，经试验合格后投运。出厂日期：2011-03-1；安装日期：2011-6-24；型号：SC10-250/37.5；出厂编号：2011-897。

6 月 27 日，该所用变 C04 开关过流 I 段保护动作跳闸，现场查发现#2 所变高压桩头与电缆搭接处 A、B 相有击穿痕迹，且所变本体表明有弧光烧蚀痕迹（见图 3、图 4）。



图 3 弧光烧蚀痕迹

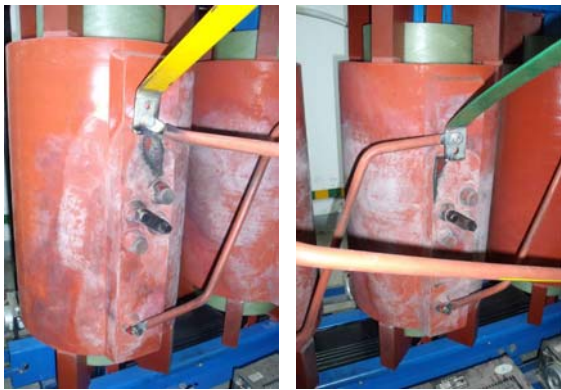


图 4 A、B 相接头处击穿痕迹

联系华鹏厂家人员现场对变压器进行检查处理。华鹏厂家工作人员查看、处理后，给出了相应说明（见附件），认为主要是室内湿度较大和连接桩头松动引起的，已进行处理。经由南京检修分部和南京供电公司生技部认可后 7 月 2 日再投入运行。

2.3 第三次跳闸故障

7 月 3 日，所用变过流 I 段保护动作跳闸。由于华鹏厂没有备品，所以 7 月 4 日，华鹏厂将 6 月 24 日更换下的所用变经制造厂试验后，运至经港变现场更换，现场试验合格后投运。

2.4 第三次跳闸故障

7 月 6 日上午该所用变 C04 开关过流 I 段保护动作跳闸。

3 故障原因分析

为彻底分析清楚故障的原因。7 月 7 日下午，会同厂家到现场进一步分析，运行人员提供信息，每次所变跳闸都是在切除电抗器之后发生，具体统计数据见表 1。

表 1 故障统计数据

| 故障日期 | 故障行为 | 故障时间 | 故障电流 |
|----------|------------------------------------|----------------|--------|
| 2 月 17 日 | VQC 切除#1 电抗器 C07 开关跳开 2 所用变 C04 开关 | 08 时 17 分 49 秒 | 4.48kA |
| 6 月 27 日 | VQC 切除#1 电抗器 C07 开关跳开 2 所用变 C04 开关 | 08 时 08 分 57 秒 | 5.2kA |
| 7 月 03 日 | VQC 切除#1 电抗器 C07 开关跳开 2 所用变 C04 开关 | 08 时 04 分 37 秒 | 4.8kA |
| 7 月 06 日 | VQC 切除#1 电抗器 C07 开关跳开 2 所用变 C04 开关 | 08 时 07 分 44 秒 | 4.8kA |
| 06 日 | 跳开 2 所用变 C04 开关 | 08 时 07 分 45 秒 | 4.6kA |

电抗器参数：

制造厂：北京电力设备总厂；型号：BKK—2000/37.5；投运时间：2008-07-03 投运；绝缘水平：AC95kV/LI185kV；额定电抗 206.5Ω；额定电流 100.4A；干式。

避雷器型号：HY5WZ1-51/134

四次故障有如下特点：

1) #2 所变跳闸均在 VQC 切除#1 电抗器之后几百毫秒内（表中未列出毫秒数），#2 所变和#1 电抗器同接在Ⅲ段母线上，#1 所变所接母线没有电抗器。

2)故障都发生在所变高压线圈的高压引线桩头和抽头位置，即高压引线桩头和抽头处的金属件有不同程度的放电烧溶痕迹。

3)后 3 次故障所变内部均无损坏，只是外部放电。且均在梅雨季节，湿度较大。

4)除所变外其它设备均无异常。

为分析 2 号所用变放电原因，需要对设备状态及相关设备操作过程进行详细试验，以保证设备能够安全、稳定运行。模拟电抗器切除过程，并由电科院对 #2 所用变上的过电压进行检测。试验在 220kV 经港变 35kV Ⅲ 母线上进行。

试验前确认 2 号所用变在正常使用（移出二次负载）；1 号电抗器故障录波器运行正常。试验接线方式示于图 5。303 开关运行状态，320 开关冷备用状态，1 号电抗器检修状态（合上 C074 接地刀闸），#5 电容器检修状态（合上 C054 接地刀闸，合上 C055 接地刀闸），1 号电抗器间隔及 C053 刀闸开关侧外接分压器以测量电磁暂态。试验接线完成后，1 号电抗器、#5 电容器转冷备用状态。（其中，分压器 1 用于测量 #1 电抗器电磁暂态过程，分压器 2 用于测量 35kV Ⅲ 母线电压）。

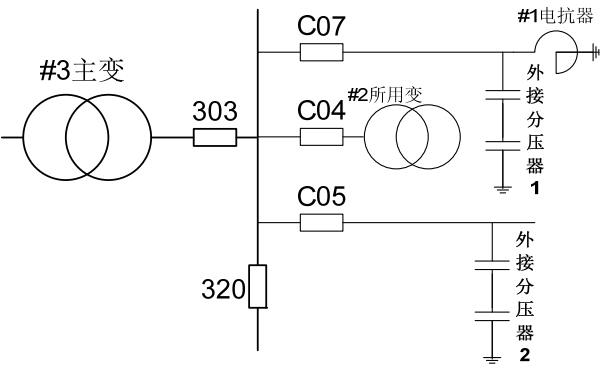


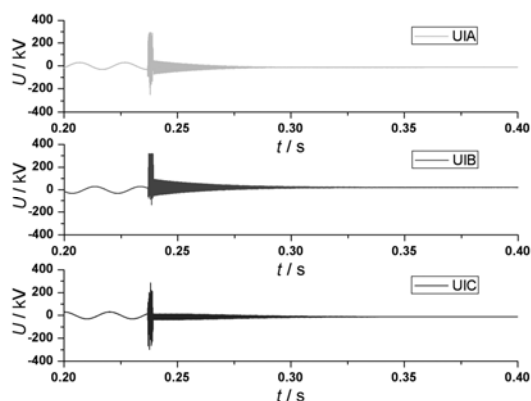
图 5 试验接线方式

C05 开关转运行，C053 刀闸保持在断开位置。测量 35kV Ⅲ 段母线电压。C07 开关由冷备用转运行，充电 1 号电抗器。模拟 VQC 切除电抗器的过程，人工远程拉开 C07 开关，测量 35kV Ⅲ 母线及 #1 电抗器的电磁暂态过程。试验中，#2 所用变在

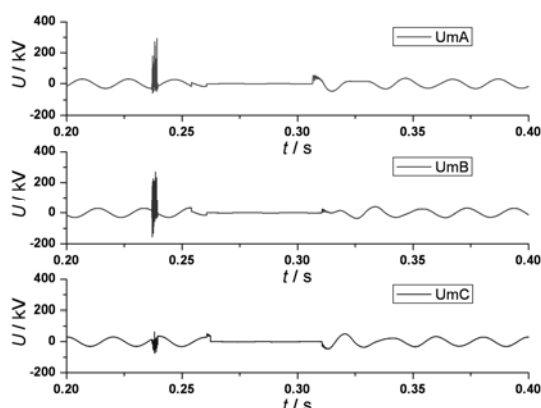
C07 开关拉开时再次发生了放电故障，其外表烧蚀情况见图 6。可以看出，#2 所用变 A 相与 B 相表面有明显的烧蚀痕迹，所用变铁扼也有烧蚀痕迹。故障过程中的 35kV III 母线与 #1 电抗器电磁暂态波形见图 7。



图 6 2 号所用变表面烧蚀情况



(a) 1 号电抗器



(b) 35kV III 母线

图 7 35kV III 母线、#1 电抗器电磁暂态波形示意图

分析录波数据可知：

(1) 从图 7 (a) 可以看出，#1 电抗器电压波形可分为三个阶段：第一阶段为 C07 开关动作前，

电抗器两侧电压为运行电压；第二阶段为 C07 开关拉开过程中，由于开关截流作用，导致 #1 电抗器能量未能释放完毕，随着能量在电抗器与分布电容之间交换，在电抗器两端建立较高的过电压（A 相电压幅值约 294kV，B 相（最高）电压幅值约为 317kV，C 相电压幅值约 297kV，脉冲宽度约为 20 μ s，脉冲频率为 20kHz~30kHz），并导致真空开关重燃，该过程持续约 2ms。第三阶段为 C07 开关重燃结束，电抗器与杂散电容（试验中含分压器电容）继续交换能量，电压表现为一频率约 2kHz 的振荡波形，随着能量消耗，电压幅值趋于零，#1 电抗器电压放大波形见图 8。

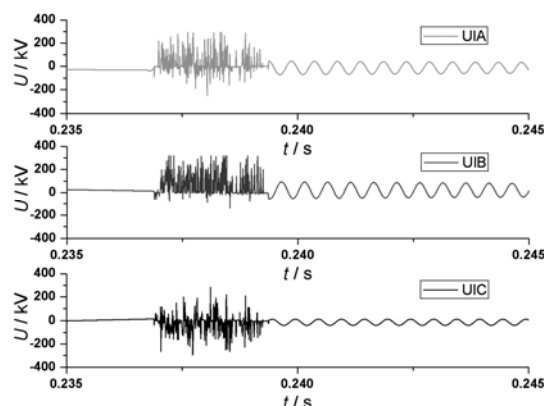
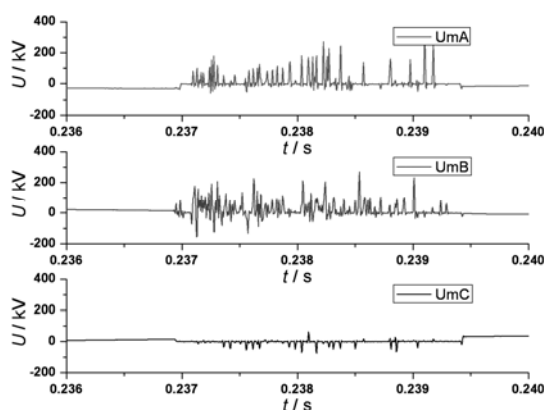
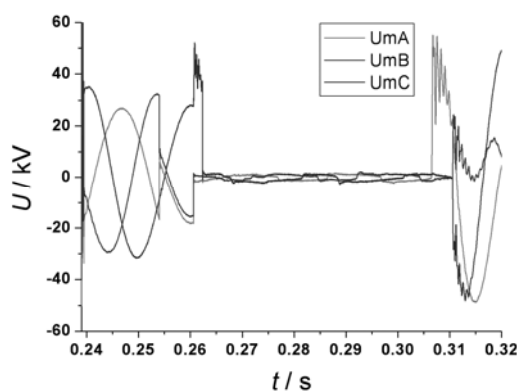


图 8 #1 电抗器电磁暂态波形图

(2) 从图 7 (b) 可以看出，35kV III 母线电压可分为五个阶段：第一阶段为 C07 开关动作前，母线电压为正常运行电压；第二阶段为 C07 开关拉开过程中，由于真空开关重燃，在母线上叠加了较高的电压（图 9 (a) 所示）。A 相电压幅值约 293kV，B 相（最高）电压幅值约为 270kV，C 相电压幅值约 75kV，脉冲宽度约为 20 μ s，脉冲频率为 20kHz~30kHz；第三阶段为 C07 开关重燃结束，母线逐步恢复正常电压；第四阶段为 #2 所用变发生闪络，母线电压几乎降至零（图 9 (b) 所示）。从图 9 (b) 可以看出，2 号所用变首先发生 A、B 两相短路（0.255s 时），约 6.5ms 后，A、B 两相短路接地（0.261s 时）；2ms 后，C 相发生短路接地。第五阶段为 #2 所用变开关过流保护动作，开关跳闸，35kV III 母线电压恢复正常幅值。



(a) 开关重燃过程中母线电压波形图



(b) 2 号所用变闪络过程中 35kV 母线电压波形图

图 9 35kV III 母线电压波形示意图

(3) 从 35kV III 母线 A、B 相间电压波形图 10 中可以看出, 相间短路发生前 (0.237s 前), A、B 相间电压为正常线电压幅值; 由于真空开关重燃 (持续时间 2ms) 过电压在母线电压上的叠加作用 (0.237s~0.239s), 过电压幅值达 300kV, 所用变 A、B 相间可能发生了多次微放电; 到 0.255s 时, A、B 相间发生短路, 开关息弧到所用变发生故障的时间相差约 15ms。

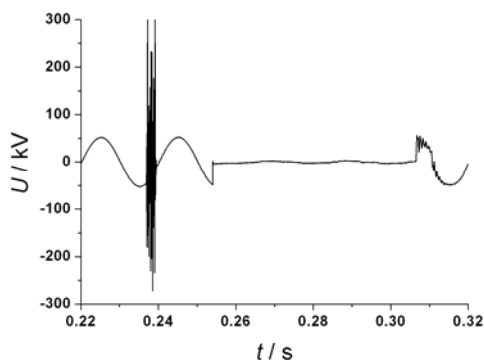


图 10 35kV III 母线 A、B 相间电压波形示意图

从开关两端电压拟合波形 (图 11 所示) 来看, A 相最高 314.6kV, B 相最高 356.7kV, C 相最高 299.9kV。

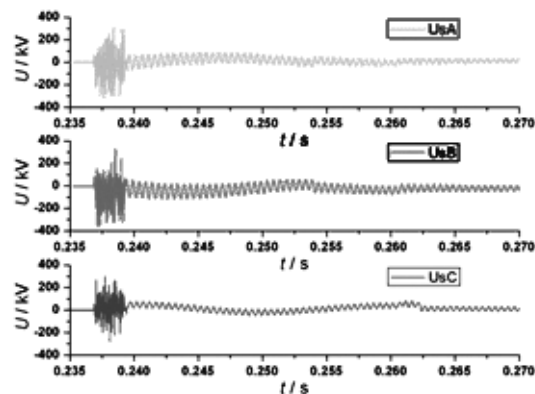


图 11 C07 开关两端电压测录波形

由于 35kV III 母线未装设避雷器, 运行过程中靠 #3 主变 35kV 侧避雷器对过电压进行限制。#3 主变 35kV 侧避雷器与 #2 所用变的距离约为 20 米, 以雷电波计算来考虑 (偏严格), #2 所用变处的最大过电压幅值 $U_{\max} = U_c + 2al/v$ 。其中, U_c 避雷器残压; a 雷电电压波形上升率; l 避雷器至被保护设备之间距离; v 雷电波在避雷器至被保护设备之间传播速度。

本次试验中测得过电压最大幅值约为 300kV, 按照避雷器雷击残压 134kV, 计算得到 #2 所用变处的最大电压约为 167kV, 小于其雷电冲击绝缘水平 (170kV)。若考虑试验中测量过电压波形上升率仅为雷电压波形的 1/10, 避雷器动作后, #2 所用变承受的过电压水平应更低, 因此 #2 所用变应在避雷器的保护范围内。经检查 #2 所用变绝缘水平为 70/170kV, 在主变低压绕组的避雷器保护范围内, 但试验过程中主变避雷器未能动作, 其原因有待于再详细分析。

4 结论与建议

(1) 通过对 220kV 经港变 35kV III 母线及 1 号电抗器电磁暂态波形测录及分析可以看出, 由于真空开关存在截流现象, 在电抗器两端产生较高幅值过电压, 开关发生重燃后, 母线上耦合也出现过电压, 最终导致了所用变相间短路, 并发展成为接地短路。

(2) 220kV 经港变 C07 开关投运超过三年, 建议对该真空开关的截流幅值、分闸速度、电极烧蚀情况进行全面检查, 并与出厂参数及同类型开关

参数进行比较,以检验开关性能是否满足需求;

(3) 试验过程中, #3 主变 35kV 侧避雷器未能对过电压幅值进行有效限制,建议对该组避雷器进行雷电冲击试验、测量冲击残压,并与出厂试验结果及同类型避雷器参数进行比较,检查避雷器性能是否满足需求。

(4) 对损坏的所用变进行更换,由于真空断路器暂时尚未更换为 SF6 断路器,暂时先停止对 #1 电抗器的投切,以防止再次损坏 #2 所用变。

参考文献:

[1] 江苏省电力局,江苏省电力试验研究所.电气试验技能

培训教材 [M].北京:中国电力出版社,1998.

[2] 江苏省电力公司,输变电设备交接和状态检修试验规程 [Z].南京:江苏省电力公司,2010.

[3] 李建明,朱康.高压电气设备试验方法 [M].北京:中国电力出版社,2001.

作者简介:

黄 冰 (1981—),男,工程师,从事高压电气试验及试验方法研究;

李大雷 (1978—),男,江苏南京人,工程师,从事电气试验方面工作。