

真空开关可恢复击穿故障引起的越级跳闸事件浅析

张 曦，金 益

(苏州供电公司检修公司常熟分公司，江苏 常熟 215500)

摘 要：本文对某变电所出线真空开关击穿引发的主变高后备越级动作故障进行分析，简述高后备、低后备整定要求，提供一些经验和实际运行建议。

关键词：真空开关；击穿；越级；故障

0 引言

真空断路器有很多优点，如开距短、体积小，重量轻，电寿命和机械寿命长，维护少，无火灾和爆炸危险等，广泛应用于中压电力系统，特别是在10kV电压等级中占绝对统治地位。仅在我公司系统中应用的就有国产ZN，VS，CB等系列，合资VD₄，VPR，3AH等系列真空开关1100多台，除少数发生漏气击穿故障外，其它开关本体真空泡上故障一般较为少见，但2011年8月28日某变电所124安定线开关发生的可恢复击穿故障却比较罕见，并导致了主变高后备越级动作。

1 故障简述

2011年8月28日3时46分51秒，常熟监控OPEN3000发某变电所“10kVⅡ段母线接地告警”、“124安定线速切保护动作”、“124安定线重合闸动作”，“#2主变高后备保护动作”等，3：46分56秒跳开#2主变高低压侧开关，造成#2主变及10kVⅡ段母线失电。事故采集信息列表见表1。

从现场一次设备检查情况看，124安定线开关、主变高、低压侧开关均在分闸状态，设备未见异常，无任何异味异响。二次设备124安定线保护及#2主变高后备保护均有动作信号发出，低后备未启动。

事后查明，因三环路高架路改造，施工单位在操作桩机移位时造成124安定线线路永久故障。

对124安定线开关(ZN_{28E}-12/1250-25)进行全项目试验，其断口耐压(42kV)，回路电阻(37-38μΩ)，触头开距(10.8-11.1mm)，合闸弹跳，分、合闸时间、电压等特性全部符合要求！

本次故障录波图见图1-5。

表1 事故中保护及开关动作情况信息采集表

发生时间	当地监控信号	信号分析
3：46：51 " 300ms	124 安定线瞬时速切保护 动作 I ₂ =35.81A (C相)	第一次故障引起保护动作，10kV线路流变V型接线，应为BC相短路
3：46：51 " 365ms	124 安定线开关分闸	
3：46：51 " 371ms	124 安定线瞬时速切保护 返回	故障电流顺利切除
3：46：53 " 454ms	124 安定线开关合闸	延时2秒后，重合闸出口后动作合上开关
3：46：53 " 455ms	124 安定线定时过流保护动作 (A、C相) I ₂ =42.11A	重合于故障线路，三相短路，保护再次动作跳闸
3：46：53 " 467ms	124 安定线瞬时速切保护动作 I ₂ =41.1A	同上条
3：46：53 " 492ms	124 安定线控回断线动作	合闸后，弹簧储能
3：46：53 " 547ms	124 安定线开关分闸	
3：46：55 " 000ms	124 安定线瞬时速切保护 返回	故障电流切除，从故障录波也能看到
3：46：55 " 271ms	124 安定线定时过流保护 返回	同上条（此时为正常信号）
3：46：55 " 411ms	124 安定线定时过流保护动作 I ₂ =43.57A (A、C相)	开关已分闸，还再次出现故障电流，保护启动并出口（异常★）
3：46：55 " 421ms	124 安定线瞬时速切保护动作 I ₂ =43.25A	同上条
3：46：55 " 421ms	#2主变高后备Ⅱ段保护 动作 I ₂ =8.69A (A、B相)	虽124保护再次动作，但是实际124开关已在分位，故障电流通过#2主变，主变后备保护动作
3：46：55 " 618ms	124 安定线开关接点异常★	开关已分闸，保护仍检测出有故障电流，发开关接点异常信号！
3：46：56 " 849ms	1738 练莫线开关分闸	延时1.4秒后，主变高后备动作出口
3：46：56 " 883ms	102#2主变开关分闸	延时1.4秒后，主变高后备动作出口
3：46：56 " 868ms	124 安定线瞬时速切保护 返回	故障切除后124线路保护返回
3：46：56 " 883ms	124 安定线定时过流保护 返回	同上条
3：47：00 " 204ms	124 安定线开关分闸	故障电流消失，同时开关在分位，保护正确判断开关为分位。
3：47：04 " 515ms	124 安定线控回断线返回	弹簧储能结束，控回断线返回

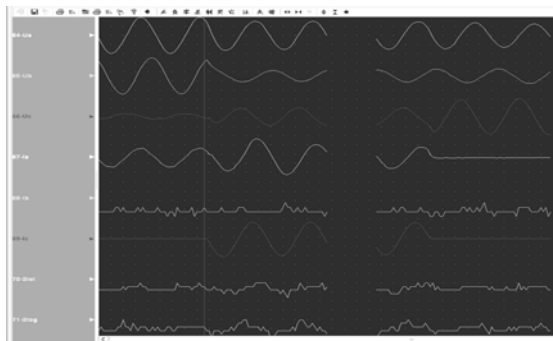
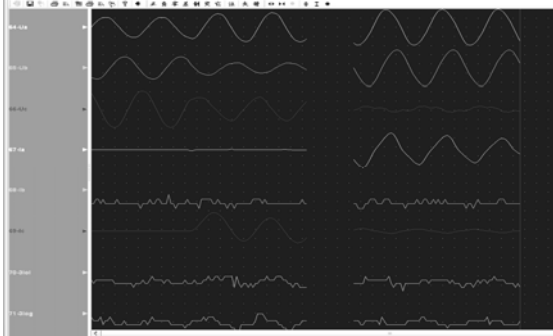
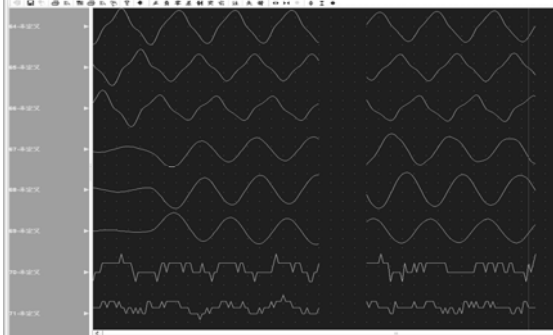


图 1 3：46'51''287 ms，124 保护录波图



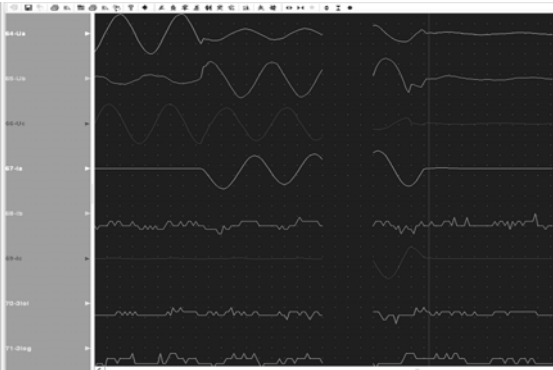
(期间有 1.9 秒电流间断持续)

图 2 3：46'53''455ms，124 保护录波图



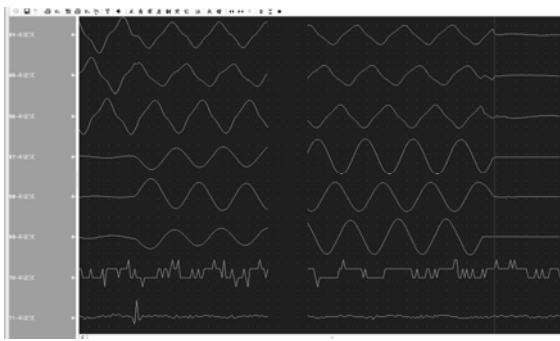
(期间有 1.2 秒电流间断持续)

图 3 3：46'53''470 ms，#2 主变高后备保护录波图



(故障电流持续 1.4 秒后被高压侧开关切除)

图 4 3：46'55''411ms，124 保护录波图



(高后备动作过程)

图 5 3：46'55''421ms，#2 主变高后备保护录波图

2 故障分析

2.1 高后备动作分析

124 安定线合于线路永久故障后开关未能隔离故障，造成#2 主变后备保护启动。

虽然#2 主变低后备保护故障电流已大于整定值，但由于故障时 10kV 母线电压未降到启动门槛，因此被电压元件闭锁；而主变高后备保护为纯过流保护，本次故障电流、持续时间满足定值要求，因此造成此次主变高后备保护越级出口动作。见表 2。

表 2 #2 主变高低压侧故障电流/定值表

主变/时间	电流值	主变/时间	电流值
高压侧 3: 46: 51	$I_a=7.40A$ $I_b=7.46A$ $I_c=7.21A$	低压侧 3: 46: 51	$I_a=8.59A$ $I_b=7.33A$ $I_c=6.29A U_L \approx 80V$
高压侧 3: 46: 55	$I_a=8.02A$ $I_b=8.69A$ $I_c=8.42A$	低压侧 3: 46: 55	$I_a=9.35A$ $I_b=9.53A$ $I_c=8.22A U_L \approx 80V$
高后备整定值: 过流 I 段—不用 过流 II 段—I: 420/7A t: 1.4s		低后备整定值: 过流 I 段—I: 4380/7.3A t: 0.8s $U_L < 60V$ 过流 II 段—I: 4380/7.3A t: 1.1s $U_L < 60V$	

对于该 110kV 变电所，由于距离上级 220kV 变电所较近，其电源侧阻抗绝大部分是主变(40MVA，13.83%) 阻抗。设定基准值 $S_j=1000MVA$ $U_j=10.5kV$ $I_j=54980A$ 时，折算到 10kV 母线上电源阻抗标么值： $X^*=4.2$ (不计电阻，其中上级电源 $X_s=0.74$ ，变压器 $X_t=3.46$)

理论计算，当低后备的三相短路故障电流达到 4380A 时，整个回路阻抗为 $54980/4380=12.55$ ，此时残压 $(12.55-4.2)/12.55*100=66.5V>60V$ 闭锁值！而当达到开放电压 60V 时，相应的回路阻抗计算为 10.5，此时短路故障电流达 5236A！也就是说，当低压侧出现类似故障，电流在 4400-5236A 时，低后备被电压元件闭锁不动作，高后备越级动作；当大于 5236A 时，两者同时启动，由于低后备时限短

先启动出口；当故障电流小于 4400A 时，无论低后备，高后备，还是上级 110kV 线路电源侧保护将无一动作，这时就需比较回路设备如出线电缆、流变、主变的热稳定性能，哪一个先失稳扩大事故，才能促使保护动作或通过监控发现线路、主变过负荷后，通过手动拉闸方式来避免进一步设备故障。

2.2 124 安定线开关分析

124 安定线开关，为国产 ZN_{28E}-12/1250-25 真空断路器，配国产陶瓷真空泡，2003 年出厂，已安全运行 7 年，期间多次成功切除故障包括线路永久性故障。

从本次事故过程看，开关第一次分闸成功，重合闸后第二次分闸后 140ms 发生了断口击穿，通过了约 5000A、持续 1.4s 的故障电流！但在事后，该断路器所有试验均正常，又成功投运！

参考相关技术资料关于真空灭弧室的绝缘性能特点分析：1、此次事故是一次发展性故障，桩机移位时会先后单相接地、两相接地短路及三相接地短路故障，第一次顺利切除了故障电流较小的两相接地短路；重合后第二次已扩展为三相接地短路故障，此时断口分开后不久即发生了重击穿！2、对新的真空灭弧室要经过老炼试验，分为电压老炼或电流老炼，电压老炼是在高电压作用下产生多次小电流火花放电或长期通过预放电电流；而电流老炼让断口间燃烧直流或交流真空电弧，作用是除气和清洁电极，从而改善开断性能。交流真空电弧在小电流（数千安以下）下为扩散型，有利于灭弧；而大电流下真空电弧为集聚形，触头表面过量的金属蒸气发射将使灭弧成为不可能。从本次的事故来看，124 安定线开关似经历了一次持续 1.4s 的交流电弧老炼过程而未受影响。

3 运行建议

（1）由于高后备将跳开高压侧开关，对三圈变或双圈变（内桥接线一线带二变运行时）等可能会停电范围扩大的应重新核算高、低压后备保护是否配合，根据 DL/T 584—2007《3~110kV 电网继电保护装置运行整定规程》的规定进行适当调整，如取闭锁电压值 70V 时，核算相应最大方式下的短路电流，尽量避免越级跳闸情况的发生。

（2）对于真空断路器此次开断失败又恢复正常，应为偶然事件。实际上，对于真空断路器，重要的是加强频繁动作开关的检查试验，特别是系统上广泛应用 VQC 投切策略后，电容器开关操作次数明显增加，对于这些开关机构、断口均是考验。公司在 2011 年的专项检查时发现一台 2000 年投运的进口 VD₄ 开关回路电阻超标，进行耐压试验断口击穿的故障；还发生过几起分体式开关机构因多次操作，主连杆松动脱落事件，因此加强电容器开关检查十分必要。

参考文献：

- [1] 张宗九.高压断路器技术问答 [M].北京：中国电力出版社，1997.
- [2] DL/T 584—2007，3~110kV 电网继电保护装置运行整定规程 [S].

作者简介：

张 曦（1972—），男，江苏常熟人，工程师，从事技术管理工作；
金 益（1970—），男，江苏常熟人，从事变电运行工作。