

关于真空断路器电寿命极限开断次数的研究

李 炜, 李玉春, 高以梅, 杨海芳, 吴盛刚, 李向阳, 李庆余

(中国电力科学研究院, 北京 100085)

Research on Maximal Breaking Times for Vacuum Circuit Breaker

LI Wei, LI Yu-chun, GAO Yi-mei, YANG Hai-fang, WU Sheng-gang, LI Xiang-yang, LI Qing-yu

(China Electric Power Research Institute, Beijing 100085, China)

摘要: 通过分析 2002~2005 年间约 400 多份型式试验报告、原始记录及试验波形,并且跟踪一台合成试验用辅助断路器单极近一年的开断情况,得出目前在制造工艺和技术水平方面,真空断路器的开断潜力还远远没被认识到。

关键词: 真空断路器; 真空灭弧室; 电寿命; 电磨损;

短路开断试验

中图分类号: TM561

文献标志码: A

Abstract: The conclusion is obtained that the potential of breaking capacity for vacuum circuit breaker has not been recognized yet, according to the manufacturing processing and technology level at present through analyzing four hundred type test reports from 2002~2005, while tracking an assistant circuit breaker used in synthetic test for nearly one year.

Key words: vacuum circuit breaker; vacuum interrupter;

electric duration; electric wear;

short-circuit breaking test

0 引言

目前,现场根据真空断路器在大容量试验室所进行的机械寿命次数及额定短路电流开断次数(如 20、30、50 次等)来进行对其维修及灭弧室更换^[1-4]。20 世纪 90 年代中期曾有厂家对 12 kV 真空断路器产品进行了 75 次额定短路开断电流试验,至于更多的开断次数以及更高电压等级产品的更多次数开断能力由于试验费用太高,厂家无法负担研发成本,所以并没有进一步深入研究。笔者通过分析 2002~2005 年 4 年来的约 400 份型式试验报告、原始记录及试验波形,并且跟踪一台合成试验用辅助断路器单极近一年的开断情况,提出了一些自己的想法。

1 型式试验报告的分析结论

分析查阅了 2002~2005 年 4 年间约 400 份真

空断路器及开关柜的型式试验报告,共发现 63 台真空断路器试品在短路开断试验过程中出现问题。通过分析发现,发生问题试品的开断次数区段有这样一个规律:试品随着开断次数的增加试验失败率反而在减小。其中发生问题的开断次数区间在 1~10 次中的占 67.4%,11~20 次中的占 17.4%,21~30 次中的占 15.2%,30 次以上的为 0%,见表 1。

表 1 试验出现问题的区段分布表

开断出现问题区段	1~10 次	11~20 次	21~30 次	30 次以上
台数	31	8	7	0

开断失败的原因很多^[5-7],主要有:①灭弧室缺陷,如真空度不合格、老炼不充分;②开关装配不良,如行程曲线不理想、灭弧室安装偏心、螺丝松动;③机构可靠性差等。从表 1 可以看出,开断试验中大部分问题出现在电寿命试验开始阶段,一旦渡过这个阶段,失败的几率就开始减小。当然失败的原因不排除灭弧室本身的问题,但目前真空灭弧室的制造技术已非常成熟,合格率很高,而且出厂时还要经过几次高电压、小电流的充分老炼及真空度的检测,出现问题的概率很小。如果真是由于灭弧室自身的缺陷造成开断的失败(如熔焊、未灭弧),也应该是随着开断次数的增多,触头材料产气造成真空度下降过快或触头材料熔化而飞溅出的金属颗粒使灭弧性能下降而造成失败几率增加,可事实正相反。开断 30 次以上的试品都通过了电寿命试验,甚至同一台产品连续成功做了两轮电寿命试验,即同时满足文[3]要求的 274 次 E2 级延长的电寿命试验和文[4]电力行业标准要求的满容量开断 30 次的电寿命试验。

由此可见,短路开断失败的主要原因不是灭弧室本身,而是断路器设计缺陷或者装配调试过程中的不认真及人为疏忽。一台设计合理、装配合格、调试良好的开关,只要选配合格的真空灭弧室,理论上

收稿日期:2007-02-08; 修回日期:2007-05-23

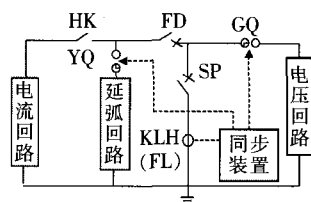
作者简介:李 炜(1976-),男,工程师,硕士,从事高压开关试验研究及检测工作。

都能够进行几十甚至上百次的额定短路电流开断。

2 验证性试验及结果

影响电寿命的主要因素是电磨损,包括灭弧室、灭弧介质、触头3方面,通常认为起决定作用的是触头的磨损,其取决于电弧能量即开断电流和燃弧时间。试验结果表明^[8,9],虽然燃弧时间的长短对单次开断是随机的,其平均燃弧时间则是趋近的,即可忽略首开相、后开相的影响,完全用开断电流作参考量。

根据真空电弧理论分析可知,真空电弧电压是一个接近的数值,不受外施电压大小的影响,只需一定的外施电压来维持真空电弧电压,所以只要短路电流满足要求,可采取降低电压的方法进行电寿命开断试验^[10,11],其触头磨损程度应该能够等效全电压的情况。依据此原理,合成试验所用的辅助断路器由于每次均参与开断短路电流,也承受较高的恢复电压,故仍能满足对触头的磨损要求。所以笔者自2005年10月~2006年7月对站内合成试验用辅助断路器的开断情况进行了记录以用来考核验证真空断路器的电寿命极限开断能力,合成试验原理见图1。图中FD的灭弧室型号为TD-40.5/1600-31.5(编号0402578),对新更换的真空灭弧室进行了近一年的跟踪测试,记录了每一次的开断情况,为了满足试验的等价性,特意将它每次的燃弧时间整定为8~10 ms,不同于目前流行的等效累计法^[12,13],将各种开断电流全都等效推算至满容量下一起考核寿命,此次记录没有考虑低于额定短路开断电流的情况,只记录了开断31.5 kA的额定短路电流的次数。实际工况比记录情况还要苛刻。

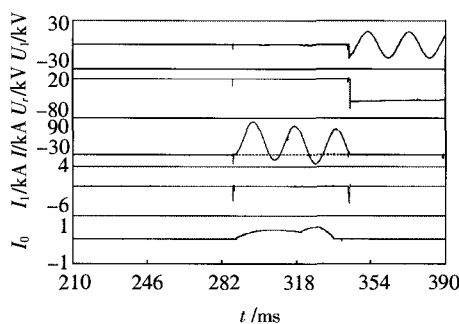


HK——合闸开关 SP——试品 FL——分流器 FD——辅助断路器 YQ——延弧回路点火球 KLH——空心电流互感器 GQ——电压回路点火球

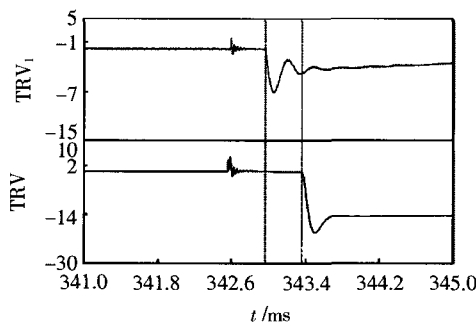
图1 合成试验回路原理结构图

截止至2006年7月底,共进行40.5 kV、31.5 kA等级各种产品试验约20台,总共开断31.5 kA电流211次,累计开断电流6 600 kA,累计燃弧时间约为1 900 ms。7月27日,将此极灭弧室作为试品进行了40.5 kV、31.5 kA合成开断试验,一共进行了3次有效开断:一次对称电流开断,燃弧时间为8.5 ms;一次大半波中燃弧开断,燃弧时间为10 ms;一次大半波长燃弧开断试验,燃弧时间为12 ms(T100a可以说是短路开断试验里最严酷的项目之一)。3次开断均成功,图2为开断试验波形。随后又对该灭弧室进

行了绝缘试验,其中工频耐压达到100 kV,冲击耐压水平略低于标准要求(185 kV),达到182 kV。这充分证实了此灭弧室仍然具备很强的灭弧能力,仍能满足继续使用的条件^[14,15]。在解剖后发现触头燃弧覆盖面比较均匀,触头面开槽大部分已熔化粘连,触头表面烧损约1.4 mm,局部已产生凹坑,触头烧损情况见图3,而且金属蒸汽对屏蔽筒的喷溅也很轻微,说明纵磁场结构电极控弧能力很强。



(a)开断时的工频示波图



(b)开断时的TRV

图2 T100a长燃弧大半波开断工频及TRV示波图



图3 触头烧损效果图

3 结语

上述试验证明,目前满容量电寿命开断次数20、30甚至50次并不能真实反映真空断路器实际的电寿命开断能力。使用具有E2级274次延长的电寿命开断次数的同样产品,分别按照两种标准进行开断试验比较其触头的解剖效果,发现开断274次触头烧损程度仅相当于20~30次的满容量电流开断后的效果。若一切环节均配合正常,真空断路器电寿命极限开断次数的潜力将非常大。因此若在使用现场仅依据在试验站验证的电寿命能力的要求来进行真空灭弧室的更换会造成相当大的浪费。

(下转第226页)

装了金属膨胀器,1999年4月色谱分析发现油中 H_2 增长率很大,而其它特征气体则变化不大,之后又跟踪取油样进行色谱分析,试验数据见表6。

表6 东棚变电压互感器色谱分析数据 $\mu\text{L/L}$

试验日期	相位	H_2	CH_4	C_2H_6	C_2H_4	C_2H_2	ΣC	CO	CO_2
1998-05-17	A	59.4	16.7	4.6	0	0	21.3	234	397
1998-05-17	B	74.8	6.4	3.2	0	0	9.6	179	439
1998-05-17	C	71.8	10.4	3.2	0	0	13.6	167	341
1999-04-23	A	264.3	18.4	5.1	0	0	23.5	314	451
1999-04-23	B	298.4	7.6	3.4	0	0	11.0	231	411
1999-04-23	C	289.7	21.3	2.8	0	0	24.1	198	321
1999-05-11	A	273.5	17.6	4.7	0	0	22.3	305	467
1999-05-11	B	312.0	8.1	3.7	0	0	11.8	234	434
1999-05-11	C	286.1	20.4	2.5	0	0	22.9	211	354

其他加装了金属膨胀器的CT也出现了同样的情况,经分析认为很可能是金属膨胀器所用的不锈钢材料中含有Ni之类的脱氢催化剂,绝缘油中的环乙烷或其同系物在Ni和电场的共同作用下发生脱氢反应,由于该反应可逆,因此在内、外部环境大致不变的情况下可达到平衡, H_2 体积分数趋于稳定^[2]。

3 新投互感器总烃超标

2003年8月20日对乌镇变准备投产的一组电压互感器取油样进行色谱分析,发现A、B、C三相全部总烃超标,分别为102.6、122.3、130.6 $\mu\text{L/L}$ 。经过充 N_2 抽真空处理后,9月18日试验数据分别为:1.1、1.3、5.4 $\mu\text{L/L}$,2004年6月和2005年5月取油样色谱分析数据也正常,试验数据见表7。

互感器出厂前充入的新油一定是经厂方试验合格的, CH_4 的体积分数基本在10 $\mu\text{L/L}$ 以下,因此可以判断油中的大量 CH_4 产生于设备充油后运至现场安装这段时间内。绝缘油是由许多不同分子量的碳氢化合物分子组成的混合物,一般高温环境会裂解出 CH_4 ,但在催化剂存在时原本需在高温、高压条件下才能进行的化学反应在常温、常压下也能缓慢进行,互感器内部的固体材料中可能就含有某种催

表7 乌镇变电压互感器色谱分析数据 $\mu\text{L/L}$

试验日期	相位	H_2	CH_4	C_2H_6	C_2H_4	C_2H_2	ΣC	CO	CO_2
2003-08-20	A	33	102.0	0.6	0	0	102.6	104	257
2003-08-20	B	60	122.3	0	0	0	122.3	106	393
2003-08-20	C	36	130.6	0	0	0	130.6	128	142
2003-09-18	A	0	1.1	0	0	0	1.1	21	859
2003-09-18	B	0	1.3	0	0	0	1.3	20	1106
2003-09-18	C	0	5.4	0	0	0	5.4	20	524
2004-06-02	A	129	7.7	0	0	0	7.7	136	882
2004-06-02	B	93	11.2	0	0	0	11.2	93	1267
2004-06-02	C	146	17.8	0	0	0	17.8	140	738
2005-05-13	A	128	16.9	0	0	0	16.9	116	912
2005-05-13	B	92	19.7	0	0	0	19.7	100	1268
2005-05-13	C	117	25.4	0	0	0	25.4	103	784

化剂,另外运输过程中的振动以及途中如果没有遮蔽而夏季太阳直射导致油温过高的情况也都有存在的可能,这些都会造成油裂解产生大量 CH_4 从而导致总烃超标^[2]。经过充 N_2 抽真空处理后这组互感器运行两年中各项试验数据均正常,可以判断并未存在潜伏性故障。

4 结语

以上几个实例说明气相色谱分析法虽然是发现潜伏性故障的一种较为完善的手段,但是当特征气体值出现异常时,不可根据三比值法草率作出判断,必须结合现场实际、设备运行状况及相关设备情况进行分析,还需持续跟踪、研究试验数据变化趋势,以便找出数据异常的真正原因。同时,对设备进行改装时必须注意选择材料,在条件许可的情况下作光谱分析以避免使用镍一类对环己烷等烃类脱氢反应具有催化作用的金属。

参考文献:

(上接第223页)

参考文献:

- [1] 尹承尚. 运行中真空灭弧室寿命分析[J]. 山东电力技术, 1996, 90(4): 76-77.
- [2] 钱家骊. 高压断路器的更换技术和日本的更换量化准则[J]. 高压电器, 2003, 39(4): 53-55.
- [3] GB 1984-2003. 高压交流断路器[S].
- [4] DL/T 402-1999. 交流高压断路器订货技术条件[S].
- [5] 曹荣江, 顾霓虹. 高压交流断路器的运行条件[M]. 北京工业大学出版社, 1999.
- [6] 王季梅, 苑舜. 大容量真空开关理论及其产品开发[M]. 西安交通大学出版社, 2001.
- [7] 刘全志, 师明义. 高压断路器在线状态检测与诊断技术[J]. 高电压技术, 2001, 27(5): 29-31.
- [8] 郭贤珊, 王章启. 高压断路器触头电寿命预测的研究[J]. 高电压技术, 1999, 25(3): 43-44.
- [9] 孙福杰, 王章启. 高压断路器触头电寿命诊断技术[J]. 电网技术, 1999, 23(3): 59-61.
- [10] 王季梅, 钱忠厚. 真空断路器电寿命试验采用降低电压试验方法的分析[J]. 高压电器, 1990, 26(1): 37-39.
- [11] 王季梅, 张伟. 真空断路器在额定电流下开断的电寿命试验研究[J]. 电工技术学报, 1993(2): 56-60.
- [12] 王阳, 朴在林. 断路器电寿命在线监测的几种计算方法[J]. 沈阳农业大学学报, 2005, 36(1): 250-252.
- [13] 胡文平, 尹相根. 基于MATLAB的高压断路器触头电寿命仿真研究[J]. 电力系统及其自动化学报, 2003, 15(6): 9-12.
- [14] 曹荣江, 顾霓虹. 表征真空断路器电寿命的若干判据[J]. 电网技术, 1997, 21(11): 26-32.
- [15] 高文胜. 基于绝缘诊断的期望寿命预测[J]. 高电压技术, 1997, 23(1): 57-58.