

DOI:10.13296/j.1001-1609.hva.2015.08.033

一起550 kV断路器合闸电阻阻值超标现象分析

杨景刚, 贾勇勇, 赵科, 高山

(江苏省电力公司电力科学研究院, 南京 211103)

摘要: 在例行试验时发现550 kV断路器合闸电阻阻值超标,通过解体、试验,发现由于该型号合闸电阻具有负温度特性,其阻值会随环境温度的降低而变大。为确保在现场准确测量合闸电阻阻值,提出了该型号产品在生产时应充分考虑环境温度的影响,在测量时记录环境温度并进行阻值换算的改进措施。

关键词: 断路器; 合闸电阻; 阻值负温度性

Analysis of an Excessive Resistance Phenomenon of 550 kV Circuit Breaker Closing Resistor

YANG Jinggang, JIA Yongyong, ZHAO Ke, GAO Shan

(Jiangsu Electric Power Company Research Institute, Nanjing 211103, China)

Abstract: The resistance of a 550 kV circuit breaker closing resistor was found exceeding the standard value in a routine test. Then disassembly inspection and test were conducted. It was discovered that this type of closing resistor possesses a negative temperature characteristic, and its resistance increases when the ambient temperature decreases. In order to ensure accurate on-site measurement of the closing resistor, it is suggested that the influence of ambient temperature should be considered in production of this type of closing resistors, and ambient temperature ought to be recorded for resistance conversion in process of measurement.

Key words: circuit breaker; closing resistor; negative temperature characteristic

0 引言

在电力系统中存在种类繁多、特性各异的操作过电压,尤其是长距离的空载输电线路合闸,过电压更加严重^[1-3]。在断路器断口间通过辅助触头接入的电阻,能较好地限制合闸过电压,释放电网的能量,从而保护电网电气设备。为了更好地发挥抑制过电压的作用,断路器分合闸电阻的阻值需要精确计算,偏大或偏小均会影响设备的安全稳定运行^[4-8]。

笔者通过分析一起 550 kV 双断口断路器合闸电阻阻值超标现象出现的原因,提出在合闸电阻设计制造时应充分考虑环境温度的影响,在分合闸电阻现场测量时记录环境温度并进行阻值换算的改进措施。

1 缺陷情况

2009 年 2 月 18 日,在对某 550 kV 断路器 I 做预防性试验时发现,其合闸电阻实测值大于 2005 年

时交接验收试验值,其中 A 相两个断口的合闸电阻检测结果的初值差大于 5%。

该批次断路器型号为 3AT3EI,2003-02-11 生产,2004-02-03 投运,额定电流为 4 000 A,为双断口、带合闸电阻和并联电容结构,共有 6 组合闸电阻和并联电容。由于当时缺少相关标准要求,且设备制造商表示该阻值变化属正常范围,加之恢复送电时间限制,所以当时未对该阻值变化情况进行深入分析。

2012 年 3 月 6 日,结合停电计划,对该断路器进行合闸电阻复测,发现其三相合闸电阻值均有所增大,其中有 3 组电阻值与交接验收试验值相比,不满足《D/T 393—2010 输变电设备状态检修试验规程》^[9]中“合闸电阻阻值初值差不大于±5%(注意值)”的要求,其余各相阻值均大于投运时的测量结果,但未超过 5%,每次测试数据见表 1。

为掌握该批次断路器合闸电阻的阻值情况,2012 年 3 月 7 日对该变电站内其他同批次的另一台 550 kV 断路器 II 进行了合闸电阻测试,发现有一组

表1 断路器 I 合闸电阻值测试数据

Table 1 Test results of No. I circuit breaker closing resistor

相		2005年	2009年	初值	2012年	初值	2012年	初值
		试验	预试	差/%	预试	差/%	复测	差/%
A	A ₁	226.8	241.0	6.26	241.2	6.35	241.5	6.48
	A ₂	227.3	240.0	5.59	241.6	6.29	242.0	6.47
B	B ₁	224.6	232.4	3.47	234.6	4.45	235.7	4.94
	B ₂	223.6	233.9	4.61	236.0	5.55	237.0	5.99
C	C ₁	228.6	233.1	1.97	234.0	2.36	234.9	2.76
	C ₂	229.1	233.4	1.88	235.2	2.66	236.1	3.06

也存在合闸电阻增大现象,但未超过 5%,具体测试数据见表 2。

表2 断路器 II 合闸电阻值测试数据

Table 2 Test results of No. II circuit breaker closing resistor

相		2005年	2007年	偏差/	2012年	偏差/	2012年	偏
		预试	预试	%	预试	%	复测	差/%
A	A ₁	228	232.5	1.97	237.8	4.30	238.7	4.69
	A ₂	228	232.8	2.11	236.2	3.60	237.1	3.99
B	B ₁	234	232.7	-0.56	241.4	3.16	242.3	3.55
	B ₂	229	232.8	1.66	238.4	4.10	239.2	4.45
C	C ₁	234	232.5	-0.64	240.1	2.61	241.0	2.99
	C ₂	240	233.1	-2.88	239.8	-0.08	240.6	0.25

现场检测发现阻值偏大后,对这两台断路器进行了相关试验,测试了机械特性、合闸电阻预接入时间、SF₆ 气体微水含量、SF₆ 气体分解产物等参数,其结果均在合格范围内,排除了由于断路器内壁故障导致阻值升高的原因。

现场检测结果表明,目前两台断路器的合闸电阻阻值均存在明显的上升趋势,投运后没有监测手段,不能实时监测阻值。如果合闸电阻值持续增大时,必然导致故障发生。为了进一步分析缺陷原因,经讨论确定,对断路器 I 进行解体检查。

2 解体情况

为了分析合闸电阻阻值超标原因,在某工厂内对合闸电阻超标的断路器 3 相合闸电阻进行了解体。

通过解体发现,该 6 组合闸电阻内部结构完好,瓷套内壁底部有少许金属屑和纤维状物体,见图 1。

合闸电阻动静触头有轻微电弧痕迹,见图 2。

合闸电阻导电杆表面有明显摩擦痕迹,见图 3。

对断路器 I 的 A₁ 断口合闸电阻(初值差最大的合闸电阻)进行完全解体(属于破坏性分解),发现其

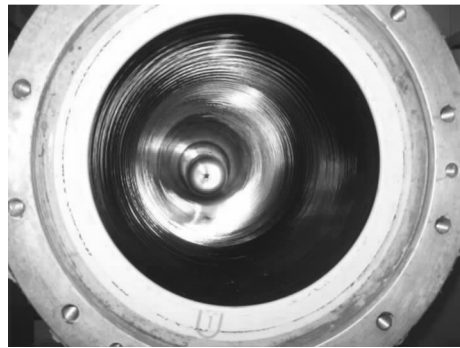


图1 瓷套内壁有少许金属屑和纤维

Fig. 1 A little metal chips and fiber in porcelain

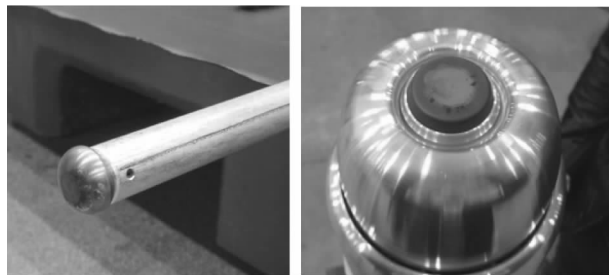


图2 触头电弧痕迹

Fig. 2 Arc trace on contact

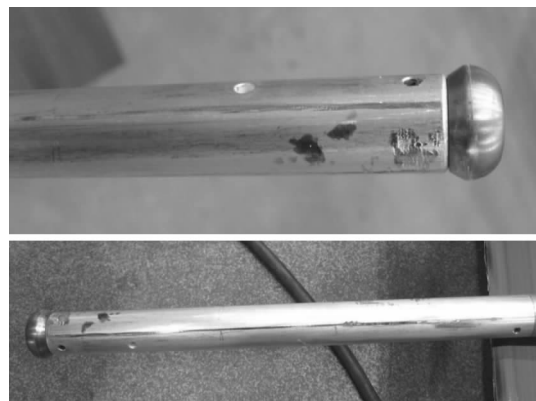


图3 合闸电阻导电杆表面摩擦镀层脱落痕迹

Fig. 3 Coating shedding of closing resistor conductive pole
各部件无明显缺陷,每只电阻之间接触可靠,外观检查未发现任何异常,见图 4。

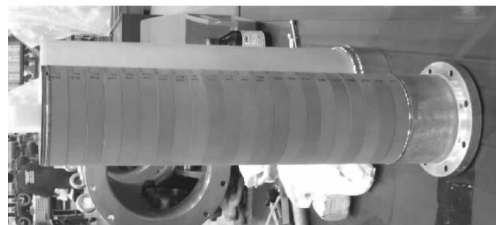


图4 合闸电阻解体图

Fig. 4 Disintegration of closing resistor

整组合闸电阻的设计规范为:一个断口的合闸电阻共有 44 只电阻片,每片电阻的设计阻值为

4.20(1±10%) Ω, 安装 44 只电阻片时, 根据阻值实测值一大一小进行交替叠加, 将整组电阻值控制在 200.0(1±10%) Ω 内。

解体后对每个电阻片进行了电阻测量, 发现该断口的 44 只电阻片中, 有 23 只电阻的阻值正偏差, 电阻值范围为 4.32~4.60 Ω, 有 5 只电阻片的阻值零偏差, 有 16 只电阻片的阻值负偏差, 阻值范围为 3.93~4.20 Ω。由于该组电阻片的阻值正偏差较多, 导致该组合闸电阻的阻值超过 200.0(1±10%) Ω 的范围。

3 阻值变化分析

根据解体情况发现, 电阻值偏大的合闸电阻内部无异常情况, 其瓷套内壁底部少许金属屑和纤维状物体来自于合闸电阻导电杆表面的摩擦, 属正常情况, 且不会对合闸电阻值产生影响, 进一步排除了断路器故障造成阻值升高的可能。

另外, 生产公司介绍, 其所提供的合闸电阻标称值为 20 ℃ 时的电阻值, 该型合闸电阻具有温度负阻性特性, 即阻值与温度呈反比关系, 随温度下降阻值将有所增大, 相应的换算系数为 0.1% Ω/℃。

为了验证该批次合闸电阻是否满足温度负阻性特性, 随即从拆解下来的断路器合闸电阻片中随机拿出 3 片, 放入高低温试验箱中进行验证性试验。

试验时, 将 3 片电阻放进高低温试验箱中, 待温度达到预定值后再放置 3 h, 确保电阻片内部温度与设定值相同, 然后随即测量电阻片的阻值。

为了尽量模拟现场可能会出现的情况, 将高低温试验箱的试验温度分别设置为 0、10、20、30、40、50 ℃, 试验结果见表 3。

表 3 不同温度时合闸电阻片的阻值变化

Table 3 The resistance change of closing resistor at different temperatures Ω

电阻片	0 ℃	10 ℃	20 ℃	30 ℃	40 ℃	50 ℃
I号电阻片	4.58	4.51	4.46	4.42	4.38	4.35
II号电阻片	4.46	4.41	4.38	4.35	4.32	4.29
III号电阻片	4.25	4.20	4.14	4.11	4.06	4.04

根据该次试验结果, 发现该 3 只电阻片均具有温度负阻性特性, 即随着温度的降低其阻值变大, 但其随温度变化阻值的变化有一定的分散性, 总体而言其阻值与温度的换算系数为 0.1% Ω/℃。

随后, 查阅近几次断路器现场试验报告, 发现阻值增大时现场温度约为 5 ℃, 与电阻片标定时温度差约为 15 ℃, 据此估算出阻值变化值为: $15 \times 0.1\% \times 235 \Omega$ (出厂值) = 3.05 Ω

对现场的实测值进行了温度换算后发现, 合闸电阻阻值均在合格范围内, 即合闸电阻阻值变化允许范围不大于初值差的 ±5%。

4 结论

经过对该起合闸电阻值现场测试结果超标现象的分析, 发现在现场仅测量电阻值而不考虑环境温度因素, 会影响对试验结果的准确性。由于断路器合闸电阻阻值会随环境温度的变化而变化, 为了确保准确测量合闸电阻阻值, 建议采取以下措施:

1) 断路器合闸电阻在设计及制造阶段, 应优先采用阻值受温度变化影响较小的产品, 并充分考虑设备安装地点环境温度变化特点, 避免出现由于环境温度变化较大时合闸电阻值出现较大变化;

2) 合闸电阻出厂时除标注阻值外, 还应标注阻值温度换算系数;

3) 修改合闸电阻阻值现场测试方案, 并对试验人员进行培训, 要求其在现场检测时, 应精确记录环境温度, 对实测值换算后再判断其阻值是否在正常范围内。

参考文献:

- [1] 王建生. 取消超高压断路器合闸电阻的讨论[J]. 高压电器, 1991, 27(5): 20-22.
WANG Jiansheng. Discussion on removing closing resistor in EHV circuit breakers[J]. High Voltage Apparatus, 1991, 27(5): 20-22.
- [2] 刘渝根, 刘敏, 苏玉萍. 取消 750 kV 断路器合闸电阻的可行性研究[J]. 高压电器, 2010, 46(5): 65-68.
LIU Yugen, LIU Min, SU Yuping. Discussion on removing closing resistor in 750 kV circuit breakers[J]. High Voltage Apparatus, 2010, 46(5): 65-68.
- [3] 李 晓, 周海洋, 施 围. 断路器合闸电阻对变压器励磁涌流的影响[J]. 高压电器, 2003, 39(1): 16-18.
LI Hu, ZHOU Haiyang, SHI Wei. Effect of circuit breaker closing resistors on inrush current of transformer[J]. High Voltage Apparatus, 2003, 39(1): 16-18.
- [4] 刘 青, 张玉峰, 万 耕, 等. 750 kV 交流输电线路的工频及操作过电压[J]. 高电压技术, 2009: 1338-1343.
LIU Qiu, ZHANG Yufeng, WAN Geng, et al. Power frequency and switching overvoltages of 750 kV AC transmission line[J]. High Voltage Engineering, 2009, 35 (6): 1338-1343.
- [5] 王秉钧. 开关合闸电阻值选定问题[J]. 高压电器, 1983, 19(5): 10-15.
WANG Bingjun. Selection of circuit breaker closing resis-

(下转第 204 页)

- CHEN Chaohua, ZHOU Kemin. Discussion on the nature of the rigid mechanism and compliant mechanism[J]. Mechanical Research & Application, 2012(2): 22-25.
- [7] 黎 斌. SF₆ 高压电器设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- LI Bin. SF₆ high-voltage apparatus design[M]. Beijing: China Machine Press, 2003.
- [8] 张 策. 机械动力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- ZHANG Ce. Dynamics of machinery[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000.
- [9] 张增磊, 巫世晶, 赵文强, 等. 含间隙高速多连杆传动机构动力学特性研究[J]. 振动与冲击, 2014(14): 66-71.
- ZHANG Zenglei, WU Shijing, ZHAO Wenqiang, et al. Dynamic characteristics of high-speed multi-link transmission mechanisms with clearance[J]. Journal of Vibration and Shock, 2014(14): 66-71.
- [10] 杨 侠, 宋 晶, 郭 钊, 等. 四连杆抽油机传动机构的结构计算与优化[J]. 机电工程, 2013, 30(2): 152-155.
- YANG Xia, SONG Jing, GUO Zhao, et al. Structural calculation and optimization of four-bar linkage pumping unit transmission mechanism[J]. Mechanical & Electrical Engineering Magazine, 2013, 30(2): 152-155.
- [11] 陈 杰. 特高压断路器连杆传动机构非线性特性研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2013.
- CHEN Jie. Study on linkage mechanism's nonlinear characteristics of ultra-high voltage circuit breaker[D]. Wuhan: Wuhan University, 2013.
- [12] 王国庆. 考虑碰撞, 非线性阻尼和构件弹性的机构动力学理论与应用研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2002.
- WANG Guoqing. Theory and application research of elastic mechanism dynamics concerning impact and nonlinear damping[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2002.
- [13] 余跃庆, 李 哲. 现代机械动力学[M]. 北京: 北京工业大学出版社, 1998.
- YU Yueqing, LI Zhe. Modern mechanical dynamics[M]. Beijing: Beijing University of Technology Press, 1998.
- [14] 唐锡宽, 金德闻. 机械动力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1983.
- TANG Xikuan, JIN Dewen. Dynamics of machinery[M]. Beijing: Higher Education Press, 1983.
- [15] HILL T C, MIDHA A. A graphical user-driven newton-raphson technique for use in the analysis and design of compliant mechanisms[J]. ASME J. Mech. Design, 1990, 112(1): 123-130.
- [16] HOWELL L L, MIDHA A. A loop-closure theory for the analysis and synthesis of compliant mechanisms[J]. ASME J. Mech. Design, 1996, 118(1): 121-125.
- [17] ANANTHASURESH G K, KOTA S. Designing compliant mechanisms[J]. Mechanical Engineering, 1995, 117(11): 93-96.
- [18] FHECKER M I, ANANTHASURESH G K, NIAHIWAKI S, et al. Topological synthesis of compliant mechanisms using multi-criteria optimization[J]. ASME Journal of Mechanical Design, 1997, 119(2): 238-245.
- [19] LARSEN U D, SIGNUND O, BOUWSTA S. Design and fabrication of compliant micromechanisms and structures with negative Poisson's ratio[J]. Journal of Microelectromechanical Systems, 1997, 6(2): 99-106.
- [20] DUBOWSKY S, GARDNER T N. Dynamic interactions of link elasticity and clearance connections in planar mechanical systems[J]. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 1975, 97(2): 652-661.
- 王永良(1983—), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为高压断路器液压操动机构的仿真与设计。
- (编辑 吴俊丽)

(上接第 199 页)

- tor[J]. High Voltage Apparatus, 1983, 19(5): 10-15.
- [6] 唐跃林, 伍 平, 谢林涛, 等. 一台 252 kV SF₆ 断路器合闸故障分析及处理[J]. 高压电器, 2011, 47(2): 72-75.
- TANG Yuelin, WU Ping, XIE Lintao, et al. Analysis and treatment of a closing fault of a 252 kV SF₆ circuit breaker[J]. High Voltage Apparatus, 2011, 47(2): 72-75.
- [7] 刘兆林. 雷击引起的高压断路器故障分析[J]. 高压电器, 2009, 45(3): 66-69.
- LIU Zhaolin. Analysis of the lightning strike faults on the HV circuit breaker[J]. High Voltage Apparatus, 2009, 45(3): 66-69.
- [8] 张若飞, 杜黎明, 张利燕. SF₆ 高压断路器故障分析[J]. 高压电器, 2010, 46(2): 99-102.
- ZHANG Ruofei, DU Liming, ZHANG Liyan. Fault analysis of SF₆ high-voltage circuit breaker[J]. High Voltage Apparatus, 2010, 46(2): 99-102.
- [9] DL/T 393—2010 输变电设备状态检修试验规程[S]. 2010.
- DL/T 393—2010 Regulations of condition-based maintenance and test for electric equipment[S]. 2010.
- 杨景刚(1984—), 男, 工程师, 从事变电设备状态评价及技术监督工作。
- 贾勇勇(1986—), 男, 工程师, 从事变电设备状态评价工作。
- 赵 科(1985—), 男, 工程师, 从事变电设备状态评价工作。
- 高 山(1974—), 男, 高级工程师, 从事变电设备状态评价工作。
- (编辑 吴俊丽)