

断路器分合闸线圈的绝缘缺陷与改进措施分析

王贵山, 李应宏

(中国南方电网超高压输电公司柳州局, 广西 柳州 545006)

摘要: 为了研究断路器分合闸线圈的绝缘缺陷及特征,文中通过分析某断路器分合闸线圈的结构、电流、内部缺陷的原因及特征后发现,线圈缺陷的原因为线圈内部薄弱点在操作电流作用下产生局部过热或匝间短路;故障线圈不影响断路器的动作性能,但直流电阻下降,线圈电流增大,波形异常,返厂试验及解剖验证了分析的正确性。针对线圈的绝缘缺陷,文中最后提出了有效的防护措施并介绍了可有效发现缺陷线圈的脉冲检测法,实践证明,脉冲检测法明显提高了线圈的合格率。

关键词: 分合闸线圈; 绝缘缺陷; 局部过热; 匝间短路; 脉冲检测法

Analysis on Insulation Defects of Circuit Breaker Switching Coil with Countermeasures

WANG Guishan, LI Yinghong

(Liuzhou Bureau of China Southern Power Grid Transmission Company, Guangxi Liuzhou 545006, China)

Abstract: To understand the insulation defects of a circuit breaker switching coil and its internal defects, the structure, current, and causes of internal defects of the coil were analyzed. It was found that the local overheating or inter-turn short circuit, which happened as the working current passed through the internal defects of the coil, resulted in the insulation defects; faulty coil did not affect the performances of circuit breaker, but decreased its DC resistance, increased the coil current, and distorted the waveform. Disintegration test verified the analysis. In addition, effective countermeasures against the insulation defects of the switching coil of circuit breaker were proposed, and the pulse detection method for effectively exploring the defects in coils was introduced.

Key words: switching coil; insulation defects; local overheating; inter-turn short circuit; pulse detection method

0 引言

断路器是电力系统中的重要设备,分合闸线圈是断路器机电一体化的核心部件,分合闸线圈的状态决定机械操动系统的可靠性^[1-2],通过进行断路器机械特性试验及分析分合闸线圈的电流信号可有效发现断路器的机械故障^[3-4]。但对于制造过程中存在绝缘缺陷的线圈,常规试验方法根本无法甄别,这些线圈投运后,在励磁电流的作用下将产生局部过热或发生匝间短路,最终烧毁线圈,引发断路器故障,威胁电网安全。

为解决以上问题,文中通过分析某型号断路器分合闸线圈的结构、操作时线圈的电流、产热、内部热故障的原因及特征后,介绍了可有效发现存在内

部绝缘缺陷线圈的脉冲检测法。

1 分合闸线圈的结构及原理

1.1 分合闸线圈的结构

分合闸线圈分为电气部分、机械部分。电气部分主要包括电磁线圈、动铁心、顶杆;机械部分包括线圈外壳、固定螺栓、调整螺栓和复位弹簧^[5]。

当线圈中通过电流时,动铁心受到电磁力作用,带动顶杆运动,顶杆撞击分、合闸掣子,打开凸轮,释放弹簧,实现断路器分合闸^[6]。当线圈中电流消失后,在复位弹簧的作用下,动铁心复位。

操作时,分合闸线圈电流波形包含很多信息^[7-14],电流波形真实反映了线圈得电到铁心开始运动、铁心运动过程、铁心运动停止后、辅助接点分断等过程的工作情况。

收稿日期:2016-03-27; 修回日期:2016-05-29

1.2 线圈产热

断路器操作过程中线圈电流产生的热量来不及向周围散发,可看成一个绝热的过程,产生的热量将使线圈导线及绝缘层温度升高,若导线绝缘层存在薄弱点或缺陷,将使绝缘层破坏,造成线圈故障。

2 分合闸线圈的故障分析

2.1 故障情况介绍

2014年2月,南网电网区域内连续发生3起断路器拒动事件,在排查断路器隐患过程中,发现某型号断路器从2008年至今,共有36台断路器的分合闸线圈出现异常,其中12个烧毁,51个出现直流电阻下降。故障线圈额定电压和线圈直流电阻:DC 220 V、215(1±6%) Ω。

2.2 现场检查情况

经现场试验,断路器分合闸线圈直流电阻下降,基本不影响断路器动作性能。某线路断路器线圈更换前后情况对比见表1、2。动作时间均合格,断路器可靠动作,但由于线圈直阻下降,通过线圈的电流增大。

表1 故障线圈操作参数

Table 1 Operating parameters of failure coil			
参数	合闸	分闸 1	分闸 2
A/ms	57.4	29.5	29.8
B/ms	57.2	29.8	30.1
C/ms	57.3	29.5	29.8
电流/A	1.31	1.22	0.98
直阻/Ω	166.3	178.9	220.0

表2 新线圈操作参数

Table 2 Operating parameters of new coil			
参数	合闸	分闸 1	分闸 2
A/ms	59.2	29.5	31.5
B/ms	59.0	29.8	31.8
C/ms	59.1	29.5	31.5
电流/A	0.99	0.99	0.97
直阻/Ω	225.1	226.0	220.0

2.3 返厂检查情况

2.3.1 试验检查情况

将故障线圈返厂进行测试,直流电阻低于设计值,绝缘电阻测量合格,脉冲试验不合格,负载试验合格。判断线圈内部存在匝间或层间短路。

将该故障线圈安装到断路器上进行合闸操作,之后将一个合格线圈安装在同一台断路器上进行合闸操作。两次操作的情况见图1、2。

由图1、2可知,故障线圈可驱动断路器的合闸脱扣机构,合闸时间及速度符合设计要求;但是故障线圈的电流较大,超出设计要求。

2.3.2 解体检查情况

为检查线圈的绝缘状况,将故障线圈进行逐层

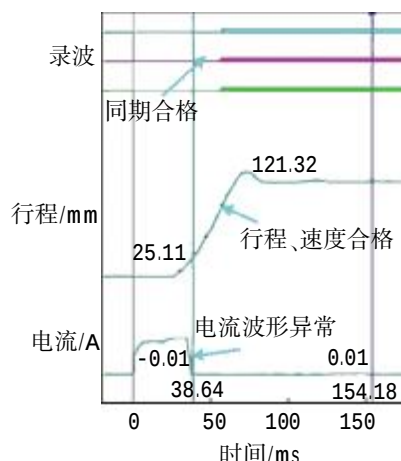


图1 故障线圈机械特性

Fig. 1 Mechanical properties of failure coil

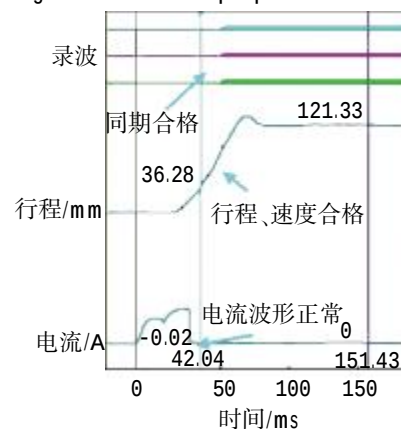


图2 正常线圈机械特性

Fig. 2 Mechanical properties of new coil

解体,解体过程中发现,在靠近铁心的第6层,发现了明显的发热痕迹,漆包线表面发蓝,为高温作用的结果,见图3。在靠近铁心的第4、2层,均发现由高温造成的匝间短路痕迹,见图4。



图3 第6层的过热痕迹

Fig. 3 The 6th floor's overheating trace

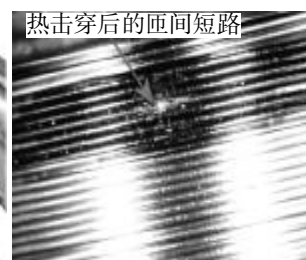


图4 匝间短路痕迹

Fig. 4 The inter-turn short circuit

2.4 故障原因分析

线圈缺陷的原因为线圈内部薄弱点在操作电流作用下产生局部过热或匝间短路。线圈匝间绝缘受损后,直流电阻下降、电流增大,但线圈的安匝数未变,因此铁心输出功率几乎不受影响,仍然可以驱动断路器机构。随着线圈操作次数增加,线圈内部受损点逐渐劣化、扩大,出现匝间短路或层间短路,最终

烧毁线圈。

线圈导线为漆包线,内部绝缘薄弱点由漆膜工艺引起。由于目前漆膜工艺的局限性,漆包线制造过程中不可避免地出现了漆膜薄弱点,线圈绕制时,漆膜薄弱点在张力作用下受到损伤而使线圈出现缺陷。常规试验无法发现这种潜伏性缺陷,据统计这种不良率约为 4%。

3 防护措施

1)对该型号断路器的情况进行梳理,明确台数及分布,并进行拒动风险评估,存在重大风险的断路器及时更换了线圈。

2)制定计划,对该型号断路器进行停电排查测试,发现阻值不合格的应及时更换。

3)进一步明确低电压动作试验和机械特性试验的方法,在进行动作电压试验和机械特性试验时,需通过断路器辅助接点,防止加电流时间过长^[15-18]。

4)明确该型号断路器线圈的技术要求,监视回路电流小于 50 mA,线圈得电时间需小于 500 ms。

5)明确要求 110 kV 以上断路器应有两套分闸脱扣装置,电气上独立且完成相同,分别或同时动作时不应影响分闸操作和机械性能。

4 改进措施

出厂试验进行的直流电阻测试、耐压试验等常规手段无法发现漆包线的薄弱点,经研究,对进行线圈脉冲检测可有效发现这种缺陷^[19-21]。脉冲检测的基本原理是在线圈一端输入正弦波,用示波器记录线圈另一端的输出波形,将这两端的波形、参数进行对比。若是线圈漆包线存在缺陷,输出波形将幅值降低、相位漂移;根据这两种变化,可方便剔除存在缺陷的线圈。

线圈无内部缺陷时,脉冲试验的波形见图 5,输入波形与输出波形完全重合。

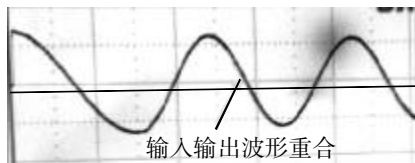


图 5 线圈合格波形

Fig. 5 The waveform of the qualified coil

线圈内部存在缺陷时,脉冲试验的波形见图 6,输入波形与输出波形的幅值、相位均存在较大差异;脉冲试验时,若输入波形、输出波形存在差异时,即可判断线圈内部存在缺陷。

在生产流程引入线圈脉冲检测,可明显提高线

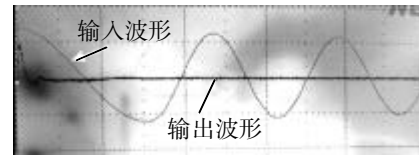


图 6 线圈不合格波形

Fig. 6 The waveform of the failure coil

圈出厂合格率;也可以在断路器机械寿命试验中配置需考核的线圈,通过寿命试验验证线圈设计、制造工艺的合理性。

5 结论

综上所述:

1)线圈内部的绝缘薄弱点在操作电流下将引发局部过热或匝间短路,最终烧毁线圈,发生断路器故障。

2)存在绝缘薄弱点的线圈故障后,不影响断路器动作性能,但直流电阻下降,电流增大,波形异常。

3)进行断路器机械特性试验时,施加试验电源的回路包括断路器辅助接点的方法可有效保护线圈。

4)脉冲检测法可有效发现存在绝缘缺陷的线圈,在生产流程对线圈进行脉冲检测,出厂合格率明显提高。

参考文献:

- [1] 林燕侠.高压真空断路器机械特性故障诊断研究[D].江苏:江苏科技大学,2009.
LIN Yanxia. Fault diagnosis of mechanical properties of the high-voltage vacuum circuit breaker[D]. Jiangsu: Jiangsu University of Science and Technology, 2009.
- [2] 赵洋,刘汉宇,曾庆军.高压真空断路器机械特性在线监测系统研制[J].高压电器,2009,45(6):91-95.
ZHAO Yang, LIU Hanyu, ZENG Qingjun. Study on on-line monitoring for mechanical characteristics of high voltage vacuum circuit breaker[J]. High Voltage Apparatus, 2009, 45 (6): 91-95.
- [3] 宋述波,严进军,邓光武.穗东换流站断路器接触器频发故障原因及改进措施[J].南方电网技术,2012,6(6):34-36.
SONG Shubo, YAN Jinjun, DENG Guangwu. The frequent failure cause and improvement of disconnector contactor at suidong converter station[J]. Southern Power System Technology, 2012, 6(6): 34-36.
- [4] 常广,张振乾,王毅.高压断路器机械故障振动诊断综述[J].高压电器,2011,47(8):85-90.
CHANG Guang, ZHANG Zhenqian, WANG Yi. Review on mechanical fault diagnosis of high-voltage circuit breakers based on vibration diagnosis[J]. High Voltage Apparatus, 2011, 47(8): 85-90.
- [5] 徐国政,张节容,钱家骊,等.高压断路器原理和应用[M].北京:清华大学出版社,2002.

- XU guozheng, ZHANG Jierong, QIAN Jiali, et al. Principle and application of high voltage circuit breaker[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2002.
- [6] 陈保伦, 文亚宁. 断路器弹簧操动机构介绍[J]. 高压电器, 2010, 46(10): 75-80.
- CHEN Baolun, WEN Yaning. Introduction of spring operation mechanism for CB[J]. High Voltage Apparatus, 2010, 46(10): 75-80.
- [7] 关永刚, 黄瑜珑, 钱家骊. 基于振动信号的高压断路器机械故障诊断[J]. 高电压技术, 2000, 26(3): 66-68.
- GUAN Yonggang, HUANG Yulong, QIAN Jiali. An overview on mechanical failure diagnosis technique for high voltage circuit breaker based on vibration signal[J]. High Voltage Engineering, 2000, 26(3): 66-68.
- [8] 李劲彬, 全江涛, 陈 隽, 等. 基于分合闸线圈电流的某换流站开关故障分析[J]. 高压电器, 2015, 51(2): 141-144.
- LI Jingbin, QUAN Jiangtao, CHEN Jun, et al. Fault analysis of circuit breaker in a converter station based on switching coil currents[J]. High Voltage Apparatus, 2015, 51(2): 141-144.
- [9] 张永奎, 赵智忠, 冯 旭, 等. 基于分合闸线圈电流信号的高压断路器机械故障诊断[J]. 高压电器, 2013, 49(2): 37-42.
- HANG Yongkui, ZHAO Zhizhong, FENG Xu, et al. Mechanical fault diagnosis of high voltage circuit breakers based on opening/closing coil current parameters[J]. High Voltage Apparatus, 2013, 49(2): 37-42.
- [10] 袁金丽, 李 奎. 基于 SVM 与分合闸线圈电流参数的高压断路器机械故障诊断[J]. 高压电器, 2011, 47(3): 26-30.
- YUAN Jinli, LI Kui. High voltage circuit breaker machinery fault diagnosis based on the parameters of SVM and together sub-gate coil current[J]. High Voltage Apparatus, 2011, 47(3): 26-30.
- [11] 钟家喜, 李保全, 李亚红. 高压断路器机械状态诊断与监测技术的探索与实践[J]. 高压电器, 2011, 47(2): 53-60.
- ZHONG Jiaxi, LI Baoquan, LI Yahong. Exploration and practices of mechanical state diagnosis and monitoring techniques for high voltage circuit-breaker[J]. High Voltage Apparatus, 2011, 47(2): 53-60.
- [12] 潘惠敏. 基于 DSP 的真空断路器机械参数测试装置的研发[D]. 成都: 西华大学, 2009.
- PAN Huimin. Development of the test device based on DSP vacuum circuit breaker mechanical parameters [D]. Chengdu: West China University, 2009.
- [13] 陈建平, 胡占强, 苏晓东. 智能化断路器机械特性在线监测关键技术设计[J]. 高压电器, 2013, 50(4): 108-112.
- CHEN Jianping, HU Zhanqiang, SU Xiaodong. Key technology design to on-line monitoring of mechanical characteristics for intelligent vacuum circuit breaker[J]. Voltage Apparatus, 2013, 50(4): 108-112.
- [14] 孙来军, 胡晓光, 纪延超. 一种基于振动信号的高压断路器故障诊断新方法[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(6): 157-161.
- SUN Laijun, HU Xiaoguang, JI Yanchao. A new method of fault diagnosis for high voltage circuit breaker based on vibration signal[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(6): 157-161.
- [15] 孟永鹏, 贾申利, 荣命哲. 真空断路器机械特性的在线监测方法[J]. 高压电器, 2006, 42(1): 31-34.
- MENG Yongpeng, JIA Shenli, RONG Mingzhe. On line monitoring method for mechanical characteristics of vacuum circuit breakers[J]. High Voltage Apparatus, 2006, 42(1): 31-34.
- [16] 于莉莉. 高压断路器的在线监测与诊断系统[D]. 山东: 山东大学, 2005.
- YU Lili. Online monitoring and diagnosis system of high voltage circuit breaker[D]. Shandong: Shandong University, 2005.
- [17] 杨壮壮, 徐建源, 李 斌, 等. 高压真空断路器机械状态监测系统研制[J]. 高压电器, 2013, 49(8): 26-34.
- YANG Zhuangzhuang, XU Jianyuan, LI Bin, et al. Design of monitoring system for mechanical status of high voltage vacuum circuit breaker[J]. High Voltage Apparatus, 2013, 49(8): 26-34.
- [18] 郭 江, 刘亚锦, 邹积岩. 面向优化检修的真空断路器状态监测与诊断[J]. 高压电器, 2007, 43(6): 454-456.
- GUO Jiang, LIU Yajin, ZOU Jiyan. Optimal maintenance-oriented condition monitoring and diagnosis of vacuum circuit breaker[J]. High Voltage Apparatus, 2007, 43(6): 454-456.
- [19] 李 娟. 高压断路器在线监测信号的小波处理方法[J]. 北京机械工业学院学报, 2007, 22(1): 19-22.
- LI Juan. New signal process scheme based on wavelet for online monitoring of high voltage circuit breaker[J]. Journal of Beijing Institute of Machinery, 2007, 22(1): 19-22.
- [20] 秦少臻, 王 钰, 李彦明, 等. 检测变压器绕组变形的低压脉冲法的研究[J]. 变压器, 1997, 34(7): 24-29.
- QIN Shaozhen, WANG Yu, LI Yanming, et al. A study of the low voltage impulse method for detecting the transformer winding deformation[J]. Transformer, 1997, 34(7): 24-29.
- [21] 武剑利. 频响分析法检测变压器绕组变形的理论研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2004.
- WU Jianli. Study on frequency response analysis method in diagnosing transformer winding deformation[D]. Wuhan: Wuhan University, 2004.
- 王贵山(198—), 男, 工程师, 电气试验技师, 从事高压试验管理工作。
- 李应宏(1987—), 男, 助理工程师, 电气试验高级工, 从事电气试验工作。