

一起分闸掣子缺陷引起的断路器合后即分故障分析

石 峰, 王 淼, 叶德武, 张 磊, 汤思涵

(国网辽宁省电力有限公司抚顺供电公司, 辽宁 抚顺 113006)

摘要: 针对一起弹簧机构高压断路器合后即分的故障, 通过断路器现场检查、线圈电流曲线, 结合其操作机构动作原理和高清摄像技术分析了故障原因。通过分闸掣子装置解体检查和数据测量, 查明故障原因为分闸掣子装置上Catch的尺寸超下限导致掣子的打开行程降低和掣子装置中线圈复位异形弹簧角度超差, 导致抗冲击能力下降。正常合闸冲击力使衔铁振动较大, 衔铁碰撞锁杆, 造成锁杆运动使上Catch舌片失去闭锁, 导致断路器分闸, 并根据故障原因提出了预防措施。

关键词: 高压断路器; 分闸掣子; 合后即分; 异形弹簧

Analysis of circuit breakers opening after closings fault caused by tripping defects

SHI Feng, WANG Miao, YE Dewu, ZHANG Lei, TANG Sihan

(Fushun Power Supply Company, State Grid Liaoning Electric Power Co., Ltd., Fushun 113006, China)

Abstract: Aiming at the fault a spring mechanism circuit breakers opening after closing, through field inspection of circuit breaker, coil current curve, operation principle of its operating mechanism and HD camera technology fault causes are analyzed. The cause of the fault is the catch's size over the lower limit, the opening stroke of the pawl reduces and the angle of coil shaped spring in opening tripping is over-tolerance, the spring elasticity of the forceps device is reduced, and the impact resistance is reduced. The normal closing impact force causes the armature to vibrate greatly, and the armature collides with the lock rod, causing the lock rod to move and the tongue to lose the lock, the breaker is opened. Daily maintenance precautions are proposed according to the cause of the quality events.

Key words: high-voltage circuit breaker; opened tripping; opening after closing; shaped spring

0 引言

高压断路器作为输变电系统中承担灭弧和开断负荷或异常电流重要的一次设备, 有控制和保护的双重任务, 其可靠性关系到系统的稳定运行, 拒分、拒合和合后即分等误动作都会引起严

重的事故^[1-3]。目前, 500 kV及以上电压等级的高压断路器的操动机构主要包括弹簧机构、液压机构和液簧机构, 220 kV及以下电压等级的高压断路器的操动机构主要包括气动机构、液压机构和弹簧机构, 其中弹簧机构因其良好的性能得到了广泛应用^[4-5]。弹簧机构结构简单, 动态性能好, 维护工作量小, 可靠性高, 易于控制, 不受

河北省自然科学基金 (No.E2018502134)

环境温度影响,但是分合闸冲击力度大,对构件强度要求高^[6-8]。操动机构作为断路器重要组成部分,需要通过传动部件的多方面复杂配合来改变力的方向和作用点带动灭弧室进行分合闸操作^[9-11]。根据2019年国家电网公司变电一次设备引发的事件统计可知,断路器大多数故障为机械故障,其中操动机构引起的故障达到90%。发生机械故障的原因有:分合闸铁心卡阻,分合闸掣子故障导致无法正常咬合和释放,传动部件存在摩擦和卡涩^[11-12]。

ABB公司制造的LTB245E1型断路器采用的BLK222型的弹簧机构是一种技术成熟并在变电站中得到广泛应用的机构,在合闸过程中可能发生合后即分的故障^[13-15]。针对一起220 kV断路器分闸脱扣器抗冲击能力下降导致的断路器合后即分的故障,通过断路器现场状况检查试验,分闸掣子装置高速摄像影像、解体检查和数据测量,最终查明事件原因。现场更换分闸掣子装置后,远方、就地分合操作约40次均未出现合后即分现象。最后提出了预防弹簧操动机构断路器同类质量事件的措施。

1 故障分析

2019年6月,某变电站220 kV某线路送电时,断路器合闸操作后,无保护动作即发生B相断路器跳闸,因三相不一致,引起A、C相断路器跳闸。结合录波图可知,三相合闸后,B相分闸,经2 563 ms三相不一致动作,然后A、C相分闸,初步判断为B相合闸不能保持。

1.1 断路器现场状况检查

该断路器生产厂家为ABB,产品型号LTB245E1-1P-50kA,机构型号BLK222,生产日期2009年1月,投运日期为2010年7月2日。

现场检修人员分别从一次、二次接线以及继电保护装置等方面排查进行检查。分合闸掣子外观检查未见异常,合闸弹簧检查未见异常,地脚螺栓、支架固定螺栓、机构与支架固定螺栓未见有松动迹象。控制回路电源、控制回路接线、辅

助回路接线、继电器功能、二次回路绝缘以及分合闸线圈电阻检查和测试后均合格。图1为断路器处于合闸位置分合闸掣子位置,图2为分闸掣子装置外观检查。



图1 断路器处于合闸位置分合闸掣子装置位置

Fig. 1 Opened and closed tripping when circuit breaker in the closing position



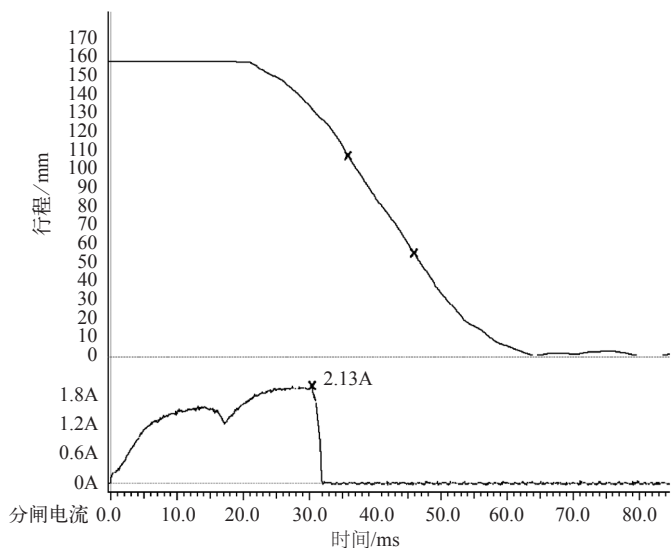
图2 分闸掣子装置

Fig. 2 Opened tripping

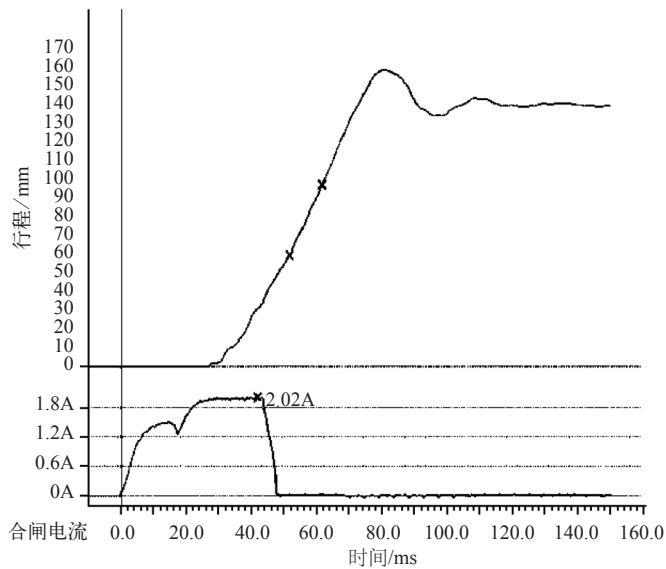
1.2 断路器特性试验

由工程经验可知,利用机械特性试验的分合闸速度和行程曲线可以从侧面反映操动机构掣子锁扣与衔铁间隙不合格,传动部件摩擦等问题。现场对断路器传动机构检查,未发现问题,采用GKC436E高压开关测试仪对B相断路器进行机械特性测试。图3为断路器分合闸机械特性曲线。表1为断路器机械特性测试值。

断路器测试的合闸电流、分闸速度都符合厂家标准,分闸电流峰值、合闸速度小于厂家标



(a) 分闸机械特性曲线



(b) 合闸机械特性曲线

图3 断路器机械特性曲线

Fig. 3 Mechanical characteristics of circuit breaker

表1 断路器机械特性测试值

Tab. 1 Value of mechanical characteristics of circuit breaker

	测试值	交接值	厂家标准
分闸时间/ms	18.2	16.1	17±2
分闸速度/(m/s)	8.2	8.3	8.0~8.7
合闸时间/ms	30.2	25.2	< 30
合闸速度/(m/s)	7.2	7.9	7.4~8.0

准和交接值。合闸速度偏低，要提高合闸速度需增大弹簧压缩量，适当松缓冲器调节调整合闸弹簧后，合闸速度合格。进行单分单合操作5次、

合-分操作3次后，B相断路器发生合闸后跳闸的现象。断路器分合闸线圈电流可反映电磁铁线圈本身的通电情况和操动机构的传动部件的动作状况。根据对分合闸线圈电流曲线分析，发生合闸后跳闸过程中A、C相分合闸线圈都有标准的电流曲线，而B相只有标准的合闸电流曲线，说明B相分闸线圈没得到电压，是由B相断路器内部机械原因导致合后即分事件。对B相做分闸试验时，低电压动作特性合格，说明分闸线圈和铁心行程完好无损；与该型号的断路器典型电流波形进行比对可知，铁心停止运动阶段的峰值电流明显减小，说明分闸掣子的脱扣装置受力减少，进一步说明是机械故障，排除分闸线圈装置故障。

2 原因分析

2.1 断路器机构动作原理

LTB245E1-1P-50kA型断路器合闸时，合闸掣子4的锁销被带电的合闸线圈释放，合闸臂2逆时针转动同时牵引分闸臂向右，并为分闸弹簧储能。在行程末端，分闸拐臂逆时针越过分闸掣子在惯性力的作用下做减速运动直至停止，随后在分闸弹簧的作用下，分闸拐臂加速顺时针转动，分闸臂3最终被分闸掣子1闭锁，合闸臂2继续逆时针转动直到与合闸掣子4闭锁。缓冲器活塞5延伸为下次分闸操作作做好准备。电动机启动并重新为合闸弹簧储能，断路器恢复到正常运行，如图4所示。

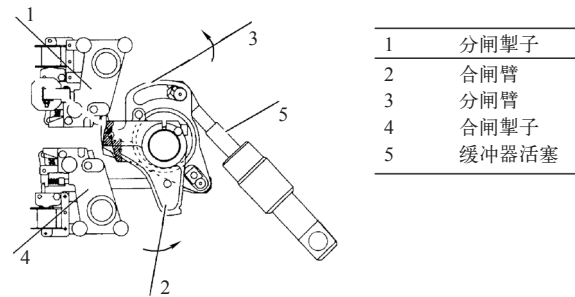


图4 断路器合闸时

Fig. 4 When the circuit breaker is closing

LTB245E1-1P-50kA型断路器分闸时，接到分闸指令后，分闸线圈释放分闸掣子装置1，由分闸弹簧完成操作。跳闸臂3顺时针转动，在

运动的终端位置由缓冲器2阻尼，在分闸位置形成一个终端位置止动，如图5所示。

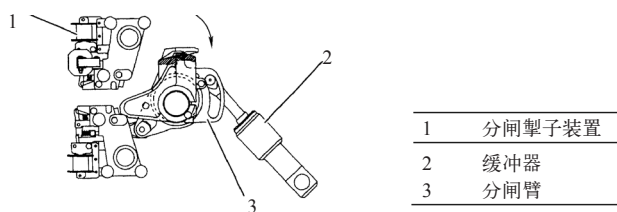


图5 断路器分闸时

Fig. 5 When the circuit breaker is opening

2.2 事故原因分析

2.2.1 可能导致断路器出现合后即分现象

(1) 合闸速度过高

合闸能量较大导致合闸时机架振动过大，机架的过大振动引起分闸脱扣器的大幅摆动，脱离正常扣接位置。在合闸末期分闸拐臂在越过分闸掣子后有一个较大的过冲，在分闸弹簧的作用下，分闸拐臂返回到分闸掣子处，以较大的动能冲击分闸掣子，导致分闸掣子无法锁住分闸拐臂，会发生无信号自分故障。

(2) 分闸掣子的抗冲击能力问题

分闸掣子传动系统脏污，锈蚀卡滞，复位不灵；掣子传动环节的个别零件尺寸问题超差；掣子弹簧零件性能降低；掣子传动环节的间隙调整不当等原因导致掣子抗振动能力较低，衔铁振动较大，引起活动件锁杆摆幅偏大，回落时在合闸保持掣子上滚轮左侧，分闸掣子失去合闸闭锁的作用。

现场检查未发现断路器支撑构架固定螺栓有松动迹象及地基沉降和开裂现象。现场测试断路器的机械特性，合闸速度偏低，排除合闸速度过高和断路器机构箱外部抗振动能力低的原因，初步判定为分闸掣子装置抗冲击能力低的原因。

2.2.2 分闸掣子装置数据测量

利用高速摄像机捕捉断路器操作过程中分闸传动部件的运转过程。从高速摄像结果发现，发生合后即分的现象是合闸过程中的振动导致衔铁向右运动并碰撞到锁杆，锁杆运动打开上Catch舌片失去闭锁，导致断路器分闸，分闸掣

子装置如图6所示。图6中，线圈复位弹簧即为异型弹簧。对分闸掣子进行了解体，并对关键部件进行了检查。

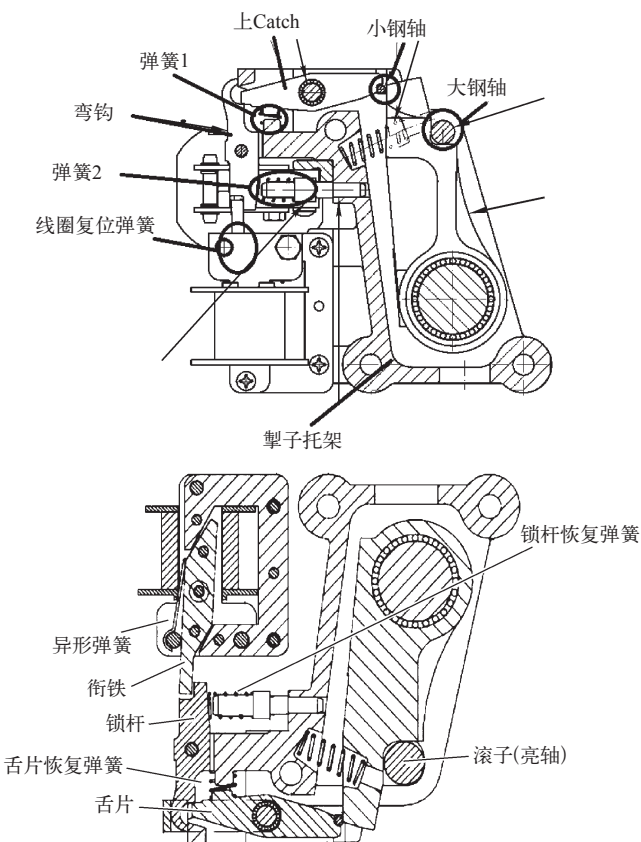


图6 分闸掣子装置内部结构

Fig. 6 Internal structure of opened tripping

1) 掣子的托架、大钢轴、小钢轴、弯钩、弹簧1和弹簧2检测均合格。

2) 上Catch测量。结构图如图7所示。参数如表2所示。使用三坐标检查，有一个关键尺寸超标0.107 mm，尺寸为29.793 mm。

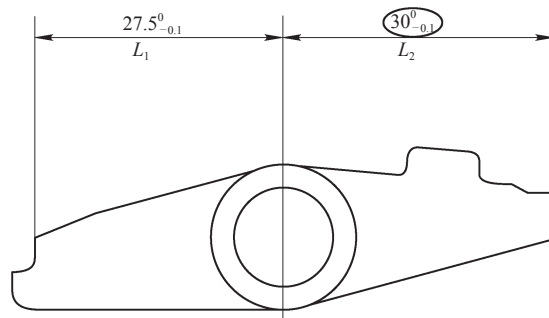


图7 上Catch结构图

Fig. 7 Catch internal structure

上Catch的轴心至端面的尺寸超下限会导致

表 2 Catch 参数
Tab. 2 Catch parameter

项目	标准	实测值	判断
L_1/mm	$27.5_{-0.1}^0$	27.461	合格
L_2/mm	$30_{-0.1}^0$	29.793	不合格

掣子的打开行程降低,从而可显现为脱扣器的抗振动能力下降。厂家说明该零件使用前需要抛光,因此该超差的原因可能为机械加工不良或抛光过度所致。根据使用经验,尚未发现类似情况,属于个别的部件加工问题。

3) 线圈复位异形弹簧数据测量。结构图如图8所示。参数如表3所示。

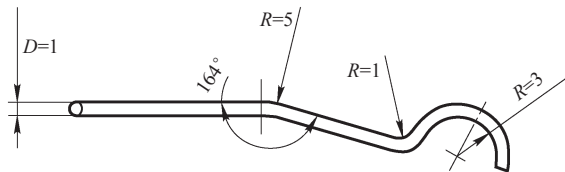


图 8 异形弹簧结构图
Fig. 8 Shaped spring structure

表 3 异形弹簧参数
Tab. 3 Shaped spring parameter

项目	标准	实测值	判断
异形弹簧角度(°)	163 ~ 165	171	不合格
异形弹簧直径/mm	0.98 ~ 1.02	0.99	合格

线圈复位异形弹簧角度超差,导致铁心的复位力量有所降低,在受能会导致线圈铁心的振动增大,可显现为脱扣器的抗振动能力下降。

综上分析,分闸脱扣器抗冲击能力下降是导致断路器合后即分的主要原因。在断路器正常合闸过程中,衔铁存在不同程度的振动并撞击锁杆,由于线圈复位异形弹簧、锁杆恢复弹簧的存在,锁杆振动几乎很小,分闸掣子完全能锁住分闸拐臂使断路器完成正常的合闸操作。通过解体检查,分析认为该掣子装置在上Catch的尺寸超差和线圈复位弹簧的角度超差的综合作用下,导致其抗冲击、抗振动能力下降,在合闸操作时由于操作振动而打开,导致合闸保持不住,造成锁杆运动导致上Catch舌片无法锁住分闸拐臂发生

合后即分现象。

3 事件处置和预防措施

厂家人员对B相断路器机构箱内的分闸掣子更换为新的掣子装置,更换之后就地分合操作和后台操作分合40次也未出现合后即分现象。进一步验证了该断路器合后即分的原因因为掣子的打开行程降低和线圈复位异形弹簧性能降低,分闸脱扣器导致其抗冲击、抗振动能力下降。针对同类型的断路器进行维护保养,检查和调整断路器的速度特性,使分合闸速度有好的匹配特性,降低开关的操作振荡,同时通过测试、对比历史分闸掣子最低动作电压的测试数据,如果发现明显降低,建议对分闸掣子进行升版维修。对于运行年限达到12年中修要求的,应全部通过掣子专用测试仪器检测其性能和抗振动能力,进行机械特性测量和储能电动机电流检查。

为方便平时运维检修,提出以下预防措施。

1) 停电检修试验中,测试分合闸速度和行程曲线,分合闸线圈电流直阻和线圈电流曲线,对断路器运行的轴承除锈和润滑。

2) 因原材料的本身特性,随着时间和操作次数的增加,断路器的操作振动力和掣子的抗振性有所变化,为了保证断路器的正常运行,对使用年限超过10年掣子全部经过掣子专用测试仪器检测其性能和抗振动能力。

3) 现场监造过程中,要严格控制断路器分合闸掣子的关键数据和断路器的分合闸动作特性。交接过程要重新测量分合闸掣子装置参数和动作特性。

4 结束语

针对一起型号为LTB245E1-1P-50kA的断路器合后即分事故,查明事件的主要原因为上Catch的尺寸超差和线圈复位弹簧的角度超差,导致其抗冲击、抗振动能力下降,在合闸操作时由于操作振动而打开,导致合闸保持不住断路器误分闸。文中根据现场再现合后即分现象,线圈电流曲线和线圈低电压动作特性初步分析可能为

内部机械原因导致合后即分故障。通过断路器操动机构动作原理和高清摄像技术分析可能导致故障的机械部件，最后解体分闸掣子，检查关键部件尺寸验证了分析结果。

参考文献

- [1] 林莘. 现代高压电器技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [2] 苑舜. 高压断路器弹簧操动机构[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [3] 高励学, 张和顺. 大功率CT20弹簧机构合后即分的故障分析及对策[J]. 高压电器, 2012, 48(12): 143-147.
- [4] 刘杨名. 高压断路器拒动原因分析及解决方案[J]. 高压电器, 2012, 48(2): 90-94.
- [5] 徐国政. 高压断路器原理和应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2010.
- [6] 李璐, 牛田野, 姜国庆, 等. 一起500 kV SF₆断路器爆炸事故的分析[J]. 中国电机工程学报, 2016, 36(增刊1): 246-250.
- [7] 王栋, 谢伟, 付海金, 等. 一起550 kV瓷柱式断路器绝缘拉杆的事故及分析[J]. 高压电器, 2015, 51(9): 177-181.
- [8] 孙银山, 张文涛, 张一茗, 等. 高压断路器分合闸线圈电流信号特征提取与故障判别方法研究[J]. 高压电器, 2015, 51(9): 134-139.
- [9] TAN Wenyi, SUN Laijun, YANG Fei, et al. Study on bruising degree classification of apples using hyperspectral imaging and GS-SVM[J]. Optik-International Journal for Light and Electron Optics, 2018, 154: 581-592.
- [10] 袁正华, 宋锐, 栗振海, 等. 一起500 kV开关误

合事件的分析电力系统保护与控制[J]. 2009, 37(13): 112-113

- [11] HUANG Jian, HU Xiaoguang, GENG Xin. An intelligent fault diagnosis method of high voltage circuit breaker based on improved EMD energy entropy and multi-class support vector machine[J]. Electric Power Systems Research, 2011, 81(2): 400-407.
- [12] 于冉冉, 余砾, 王建华, 等. 利用合闸复位时间差提高高压断路器弹簧操动机构合闸锁扣可靠性[J]. 高压电器, 2010, 46(6): 40-44.
- [13] 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, 145.
- [14] 苏菊芳, 张红军, 文亚宁, 等. CT20弹簧操动机构在252 kV高压断路器中的应用[J]. 高压电器, 2011, 47(6): 87-90.
- [15] 胡子珩. 输变电设备典型缺陷及故障案例分析[M]. 北京: 中国电力出版社, 2016.

作者简介



石峰

石峰(1975-)男, 本科, 高级工程师, 主要研究方向断路器检修试验、状态评价。

王淼(1989-)女, 硕士, 工程师, 主要研究方向为继电保护自动化。

叶德武(1987-)男, 硕士, 工程师, 主要研究方向电气试验状态评价。

(收稿日期: 2020-03-19) **EA**