

[变压器]

110 kV变压器有载分接开关主触头烧毁故障分析

文/吴寒江 沈清坤 王建新 史鑫 刘振华
廊坊供电公司

变压器有载分接开关可以在主变压器不停电的情况下，对中低压侧母线电压进行调整，其主触头起到在切换过程中断弧的作用。详细介绍了一起110 kV变压器有载分接开关主触头烧毁故障的诊断与分析过程，最后给出了处理措施。

为了维持系统电压稳定性，110 kV及以上变压器均安装有载分接开关，能够在变压器不停电的情况下调整系统电压。有载分接开关主要包括切换开关和选择开关，由于在调压过程中不允许中断负荷电流，因此切换开关需要先通过过渡电路完成档位转换，其主触头在这个过程中需要进行断弧。本文以110 kV变压器有载分接开关主触头烧毁为例，详细介绍了故障的诊断与分析过程，为110 kV变压器有载分接开关设计以及故障诊断提供参考。

故障概况

2022年11月2日11时43分28秒，某110 kV变电站1#主变压器有载调压重瓦斯动作，跳开101、301、201三侧受总开关。1#主变压器停运，345、245母联开关自投未投入，自投未出口，系统接线图如图1所示。

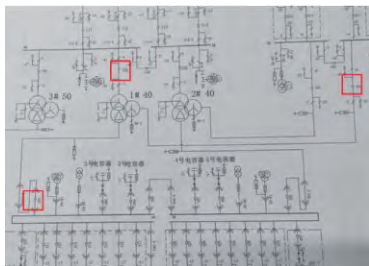


图1 系统接线图

事故发展过程分析

11月2日事故前1#主变压器进行过6次自动电压控制（Automatic Voltage Control, AVC）调档，时间见表1。

表1 有载分接开关档位

次数	调档时间	档位显示
第一次	05:01:59	11档→10档
第二次	08:19:43	10档→11档
第三次	08:38:22	11档→12档
第四次	08:52:17	12档→13档
第五次	10:57:46	13档→14档
第六次	11:45:25	14档→13档

在第六次调档到位后有载调压重瓦斯动作，并且当天发生8次过载闭锁调压，保护装置定值整定为2.7 A，即一次电流为324 A时，过载闭锁有载调压。跳闸前最后一次闭锁调压解除时间为11时27分05秒，11时45分有载重瓦动作时，未发生过载闭锁。

由图2可知，1#主变压器有载重瓦斯非电量保护装置动作时间为16时15分12秒，经时间换算，动作时间为11时45分25秒，此时1#主变压器有载调压由14档变为13档后同一秒。

经现场检查发现1#主变压器调压呼吸器有大量绝缘油喷出，呼吸通道顺畅，如图3所示。

序号	内容
1	2013年11月02日10时51分59秒445 驻车站 1号主变调压机构 动作(SOE) (接收时间 2013年11月02日10时51分59秒445)
2	2013年11月02日10时52分53秒328 驻车站 1号主变调压机构 复归(SOE) (接收时间 2013年11月02日10时52分53秒328)
3	2013年11月02日10时53分37秒585 驻车站 1号主变调压机构 动作(SOE) (接收时间 2013年11月02日10时53分37秒585)
4	2013年11月02日10时54分37秒167 驻车站 1号主变调压机构 复归(SOE) (接收时间 2013年11月02日10时54分37秒167)
5	2013年11月02日10时55分00秒486 驻车站 1号主变调压机构 动作(SOE) (接收时间 2013年11月02日10时55分00秒486)
6	2013年11月02日10时56分00秒441 驻车站 1号主变调压机构 复归(SOE) (接收时间 2013年11月02日10时56分00秒441)
7	2013年11月02日10时56分48秒583 驻车站 1号主变调压机构 动作(SOE) (接收时间 2013年11月02日10时56分48秒583)
8	2013年11月02日10时57分48秒583 驻车站 1号主变调压机构 复归(SOE) (接收时间 2013年11月02日10时57分48秒583)
9	2013年11月02日10时58分48秒583 驻车站 1号主变调压机构 动作(SOE) (接收时间 2013年11月02日10时58分48秒583)
10	2013年11月02日10时59分48秒583 驻车站 1号主变调压机构 复归(SOE) (接收时间 2013年11月02日10时59分48秒583)
11	2013年11月02日10时59分48秒583 驻车站 1号主变调压机构 动作(SOE) (接收时间 2013年11月02日10时59分48秒583)
12	2013年11月02日11时00分48秒583 驻车站 1号主变调压机构 复归(SOE) (接收时间 2013年11月02日11时00分48秒583)
13	2013年11月02日11时01分48秒583 驻车站 1号主变调压机构 动作(SOE) (接收时间 2013年11月02日11时01分48秒583)
14	2013年11月02日11时02分48秒583 驻车站 1号主变调压机构 复归(SOE) (接收时间 2013年11月02日11时02分48秒583)
15	2013年11月02日11时03分48秒583 驻车站 1号主变调压机构 动作(SOE) (接收时间 2013年11月02日11时03分48秒583)
16	2013年11月02日11时04分48秒583 驻车站 1号主变调压机构 复归(SOE) (接收时间 2013年11月02日11时04分48秒583)
17	2013年11月02日11时05分48秒583 驻车站 1号主变调压机构 动作(SOE) (接收时间 2013年11月02日11时05分48秒583)
18	2013年11月02日11时06分48秒583 驻车站 1号主变调压机构 复归(SOE) (接收时间 2013年11月02日11时06分48秒583)
19	2013年11月02日11时07分48秒583 驻车站 1号主变调压机构 动作(SOE) (接收时间 2013年11月02日11时07分48秒583)
20	2013年11月02日11时08分48秒583 驻车站 1号主变调压机构 复归(SOE) (接收时间 2013年11月02日11时08分48秒583)
21	2013年11月02日11时09分48秒583 驻车站 1号主变调压机构 动作(SOE) (接收时间 2013年11月02日11时09分48秒583)

图2 非电量保护动作报文截图



图3 事故现场图

调压油位正常约40℃。调压开关机构和切换开关档位显示一致(13档,调压次数113 215),顶部各部位法兰完好,无渗油喷出。调压开关压力防爆膜未动作。油流继电器完好,动作正确,二次回路动作灵敏、可靠。非电量保护装置至变压器端子箱二次回路及各直流二次线进行绝缘测试,最低为41.3 MΩ,最高为43.2 MΩ,满足绝缘要求。初步判断为内部切换芯子瞬时短路放电故障。

故障诊断与分析

停电后,变电检修人员对1#调压开关进行放油吊芯检查,在放油前进行排气处理,发现油室内含有一定量的气体,但无法通过气体量程判断气体体积,排气时间持续4~5 s。绝缘油耐压试验5次平均值约32 kV,满足厂家油耐压要求(不小于30 kV)。随后进行高压直流电阻和波形试验,发现调压开关在11和13分接位置时C相高压直流电阻

值均为0,波形C相无显示,详细试验数据见表2。

表2 直阻数据

档位	AH	BH	CH	不平衡系数
9	0.1774	0.1777	0.1778	0.23
10	0.1825	0.1833	0.1840	0.82
11	0.1868	0.1877	0	
12	0.1918	0.1924	0.1929	0.57
13	0.1957	0.1969	0	

通过上述综合试验数据判断切换开关芯子C相有断点或接触不实情况。

1. 吊芯检查

该有载分接开关由MR公司1997年生产,1998年6月23日投运。放完油后,将切换开关芯子吊出,发现绝缘桶内游离碳较多,切换开关表面完好,过渡电阻无烧蚀、断裂现象,过渡电阻值3.4Ω符合厂方要求(出厂值±10%)。各紧固件可靠,中性点放电间隙无明显放电迹象。进一步对其解体打开C相(L3)弧形板,发现单数位置主触头的动静触头均有严重放电,烧毁面积较大,如图4所示。



图4 主触头烧蚀图

由于切换开关在切换过程中采用携带过渡电阻的过渡触头提前将其短接,避免主触头的拉弧放电迹象,限制了循环电流。同时该开关过渡电阻良好,并且重瓦斯动作是在调压完成后发生的,主触头已经完成了单、双分接间负荷电流的正常转换。那么主触头的烧毁是在切换过程中由主触头间承载了较大的循环电流相互拉弧放电引起的。

2. 解体检查

检修人员对切换开关进行解体检查，首先对切换开关储能机构的弹簧和主触头接触情况进行全面测试检查，结果各项数据指标均符合厂方要求。因此排除了由于机械传动部件疲劳或是主触头接触不实导致的触头间相互拉弧放电烧蚀。其次对切换芯子内部解体时发现A相弧形板主触头有烧蚀现象，C相主触头烧蚀严重，C相单数主通断触头下引线断裂，上部引线断裂，但外绝缘表皮完好，如图5所示。

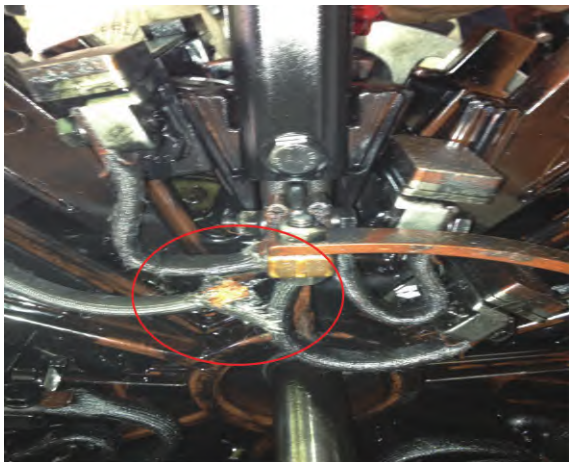


图5 C相主通断触头下引线断裂

3. 总结分析

结合图6，该切换开关引线均采用多股编制软铜线压在线夹上加绝缘护套制作而成。由于线夹制作工艺不良或是组装施工不当出现棱角，在切换过程中引线会上下摆动，由于线夹棱角使得引线长期摩擦受力断裂，同时引线设计较短，弧度不够，受力较大也是原因之一，从而导致主通断触头失去限流灭弧功能，将过渡触头到主通断触头间的循环电流（ $I_n=1.5I_e$ ）和正常负荷电流直接作用于主触头间，使得主触头出现拉弧放电烧蚀，产生较多气体组分，增大切换开关桶内压力，压力突变引起绝缘油涌动，导致有载调压重瓦斯保护动作。由于引线制作工艺不良，调压过程中无法完成各触头间电流的正常传导，大电流直接作用于主触头导致烧毁是该事故的主要缺陷。

整改措施

目前公司变压器专业在例行试验中对切换开关

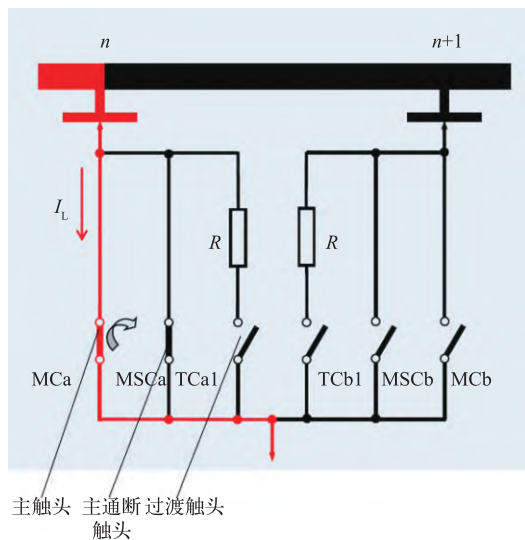


图6 有载分接开关触头分布图

开展的检修项目主要有测量过渡电阻，检查各触头、紧固和绝缘件的外观情况，以及高压直流电阻和波形试验等常规项目。由于该类缺陷属于隐蔽性缺陷，在正常例行试验中无法看见，并无有效的试验检测手段，即使引线有部分断裂，但在检修时处于分闸状态，不带电流，在测量触头通断和波形时也无法显现，只能通过解体大修方式来检查，每次解体大修试验约10 h，但由于开关厂家、停电时间和现场环境不容许，给该类缺陷处理增加难度。班组建立每台有载调压切换开关检修周期，在检修周期里联系相关厂家技术支持，对切换开关进行全面解体检修，更换老旧、变质、氧化等现象严重的部件。同时对每年调压次数超过5 000次的调压开关，应缩短检修周期，对其进行相关油耐压试验，不合格的进行更换。确保有载调压开关具有良好的运行环境。EA

(收稿日期：2023-03-17)

参考文献

- [1] 张海军. 变压器有载分接开关过渡波形分析[J]. 变压器, 2010, 47(2): 37-40.
- [2] 凡华. 变压器有载分接开关切换波形研究[J]. 电气开关, 2010, 56(4): 56-59.
- [3] 李斌, 廖兴万, 马留军, 等. 有载调压配电变压器节能应用研究[J]. 电气应用, 2021, 40(6): 72-76.