

一起 220 kV 主变压器有载分接开关触头烧损缺陷分析

梁弘毅¹, 吴雄², 吴晓晖³, 骆欣瑜⁴, 刘睿⁴

(1. 中国电力工程顾问集团西南电力设计院有限公司, 四川 成都 610021; 2. 国网四川省电力公司眉山供电公司, 四川 眉山 620000; 3. 国网四川省电力公司, 四川 成都 610041; 4. 国网四川省电力公司电力科学研究院, 四川 成都 610041)

摘要:文中分析了一起有载分接开关触头在 220 kV 主变压器有载分接开关深度检修中首次报告烧损的缺陷。该有载分接开关经过试验和现场吊芯检查后,发现奇数侧主动触头组的 A 相触头发黑变色,转轴烧结失去功能。经分析奇数侧触头组的转轴接触电阻异常增大导致的过热为开关触头烧损的直接原因。根据缺陷产生机理分析,文中对有载分接开关日常运维提出了针对性建议,为后续类似工作处置提供了宝贵经验。

关键词:电力变压器;有载分接开关;触头;烧损;过热

中图分类号:TM 41 **文献标志码:**B **文章编号:**1003-6954(2023)01-0078-05

DOI:10.16527/j.issn.1003-6954.20230115

Analysis of Burning Damage Defects of Contacts of On-load Tap-changer in 220 kV Main Transformer

LIANG Hongyi¹, WU Xiong², WU Xiaohui³, LUO Xinyu⁴, LIU Rui⁴

(1. Southwest Electric Power Design Institute Co., Ltd. of China Power Engineering Consulting Group, Chengdu 610021, Sichuan, China; 2. State Grid Meishan Electric Power Supply Company, Meishan 620000, Sichuan, China; 3. State Grid Sichuan Electric Power Company, Chengdu 610041, Sichuan, China; 4. State Grid Sichuan Electric Power Research Institute, Chengdu 610041, Sichuan, China)

Abstract: The defects of burning damage are analyzed, which are reported for the first time in an in-depth maintenance of on-load tap-changer in a 220 kV main transformer. After electrical test and hanging-core inspection, it is found that the contacts in phase A of odd-numbered active contact group turns black, and the rotating shaft is sintered and loses its function. The overheating caused by the abnormal increase of contact resistance of rotating shaft of contact group in odd-numbered side directly leads to burning damage of the contacts. The corresponding suggestions for daily operation and maintenance of on-load tap-changers are put forward, which provides precious experiences for the follow-up similar works.

Key words: power transformer; on-load tap-changer; contact; burning damage; overheating

0 引言

有载分接开关是电力变压器完成带负载调节电压的关键组部件。主要类型分为油浸灭弧式和真空熄弧式。随着电力设备新技术的推广和发展,真空熄弧式有载分接开关正在逐步替代油浸灭弧式有载分接开关,但是后者目前在 220 kV 及以下等级电力

变压器中保有量仍然巨大。众所周知,油浸灭弧式有载分接开关依靠铜钨触头和过渡电阻进行负载的不间断转换,转换过程一定伴随着油中电弧的产生和熄灭。因此,当这类分接开关频繁动作时,电弧触头烧损相应比较严重,油的碳化和污染速度较快,操作机构机械磨损也会加速,必须进行日常维护和定期检修。

因此,考虑到油浸灭弧式分接开关对变压器的

重要性和本身的工作特性,通常将油浸灭弧式有载分接开关的检修作为运检工作重点。近年来,存在不少油浸灭弧式有载分接开关的隐患处置和故障分析案例^[1-3]。

下面分析了一起某 220 kV 变电站主变压器油浸灭弧式有载分接开关,在深度检修工作中发现的切换开关芯子存在的严重故障隐患。基于分接开关结构和动作原理,结合实际电气试验测量结果,分析了故障隐患产生原因,提出了修复措施,为后续运检工作提供经验的同时,保证了在运主变压器的健康管理和按期投运。

1 设备结构和原理

发现存在故障隐患的有载分接开关为 ABB 公司生产的典型产品,型号为 UCGRN-650/500/I,设备的基本信息如表 1 所示。

表 1 隐患有载分接开关设备信息

型号	UCGRN 650/500/I	过渡电阻/ Ω	6.3
挡位数	17	级电压/V	1905
编号	1ZSC8677061	寿命(操作次数)/次	475 000
生产年代	2006	投运日期	2008-04-02
上次检修时间	2018-04-25	额定电流/A	447
现存问题及缺陷	无	动作次数/次	3804

发现的隐患处于切换开关芯子中。该产品切换开关芯子为典型的“钟摆式”,其结构如图 1 所示。切换开关芯子整体上由起吊装置、过渡电阻、快速机构以及触头系统组成。快速机构为左右摆动式的机械结构,整个结构主要包括动触头系统和中性点结构,A、B、C 三相的动触头以纸面为准从外向内依次放置。触头系统除了快速机构的动触头组以外,还有固定在绝缘板上的主静触头组、过渡静触头组和用于与油室壁连接的插入式触头,主静触头组又由灭弧触头和载流触头组成。

对于“钟摆式”有载分接开关而言,当开关正常工作时,一侧主动触头下部与载流触头之间以及静过渡触头和动过渡触头之间均良好接触,如图 2(a)所示。由于过渡电阻的存在,电流只从分接选择器经载流触头和主动触头下部流向中性点。当得到挡位切换指令时,主动触头上部和灭弧触头接触,静过

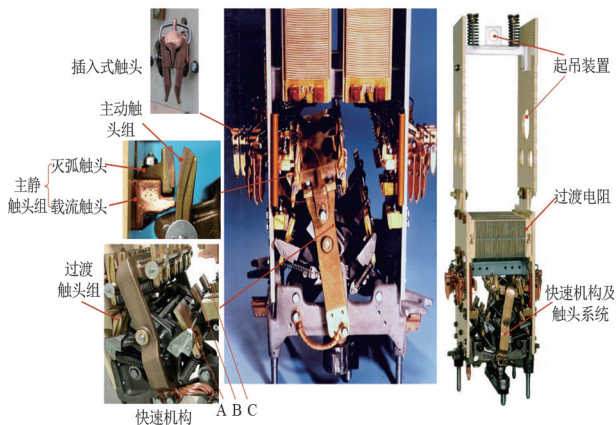


图 1 UCGRN 型有载分接开关切换芯子结构

渡触头和动过渡触头之间保持接触,如图 2(b)所示。当主动触头上部和灭弧触头分离时,产生电弧,电流转移至过渡触头,如图 2(c)、图 2(d)所示。直到另一侧动过渡触头与静过渡触头接触时,电流在两侧过渡电阻和快速机构形成环流,如图 2(e)所示。然后,一侧动、静过渡触头分离拉弧,快速机构摆动;另一侧动主触头上部与另一侧灭弧触头接触,如图 2(f)、图 2(g)和图 2(h)所示。最后,动主触头下部和载流触头接触,动过渡触头和静过渡触头完全接触,完成一次挡位切换,如图 2(i)所示。

2 隐患情况

吊芯前,采用 5 A 直流电阻测试仪进行摸底试验,发现该主变压器奇数挡位(1、3、5、7、11、13、15、17)的 A 相直流电阻均比 B、C 相高 6 m Ω 左右,不平衡率最高可达 2.049%,超过标准要求的 2%;偶数挡三相的直流电阻和不平衡率均测试合格,详细数据如表 2 所示。

吊芯时,利用 200 A 回路电阻测试仪对切换开关主动触头和载流触头的接触电阻进行测试,发现切换开关奇数挡侧 A 相接触电阻达 8850 $\mu\Omega$,远高于 DL/T 574—2021《电力变压器分接开关运行维修导则》要求的 500 $\mu\Omega$ ^[4],明显大于 B、C 相的 412 $\mu\Omega$,且测试结果与摸底试验结果吻合,测量结果如表 3 所示。此外,外观检查也发现三相主动触头有过热发黑现象,接触面有轻微烧损痕迹,三相主动触头安装轴烧结,如图 3 所示。对奇数挡侧主触头进行打磨处理后,接触电阻变化无明显效果,A 相接触电阻仍然有 8000 $\mu\Omega$ 左右。

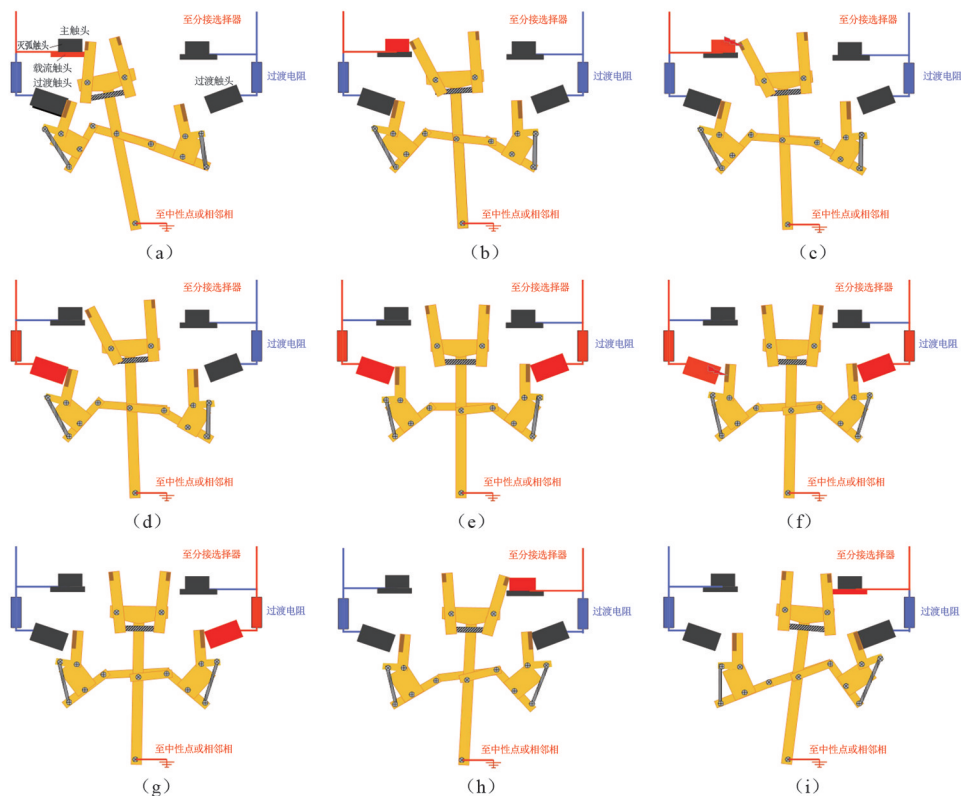


图 2 UCGRN 型有载分接开关切换芯子动作原理

表 2 三相高压侧绕组直流电阻试验

挡位	直流电阻/mΩ			误差/%
	A-O	B-O	C-O	
1	418.4	413.7	413.7	1.130
2	405.1	405.3	406.7	0.394
3	406.3	399.8	400.3	1.616
4	391.3	391.5	393.6	0.586
5	393.2	386.7	386.9	1.671
6	377.8	377.9	379.8	0.528
7	380.7	373.0	373.4	2.049
8	364.2	364.5	366.3	0.575
9	355.5	355.9	356.4	0.252
10	363.6	364.3	365.2	0.439
11	379.6	372.7	372.4	1.920
12	377.1	377.9	379.0	0.502
13	392.7	386.4	386.1	1.699
14	390.8	391.5	392.6	0.459
15	407.0	400.0	399.7	1.814
16	404.4	405.3	406.1	0.419
17	420.8	413.6	413.3	1.803

表 3 三相奇数偶数挡的接触电阻测量 单位: $\mu\Omega$

挡位类别	A 相	B 相	C 相
奇数挡	8850	412	412
偶数挡	246	264	216

3 原因分析及措施

正常工作时,载流触头、主动触头、主触头组转轴和中性点会流过负载电流。根据触头发黑和转轴



图 3 主动触头过热发黑现象

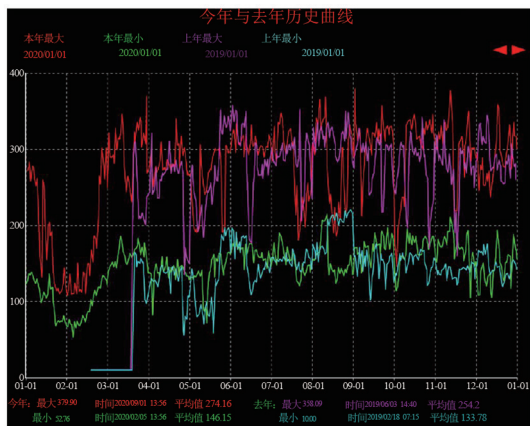
烧结的现象可知,主触头组转轴部位必定经历了一个过热过程。由式(1)焦耳定律可知,过热有两种解释:1)奇数侧 A 相载流触头、主动触头、主触头组转轴至中性点的回路中各部件本身和部件之间的接触电阻无变化,而是检修前 A 相长时间承受大电流,且电流值远超最大允许通过电流 500 A,导致回路过热,A 相主动触头烧黑同时将转轴烧结。2)检修前 A 相的电流正常,但是回路中存在着接触电阻异常增大的缺陷点,接触电阻增大的原因可能是由设

备老化、设计缺陷或者其他原因引起。

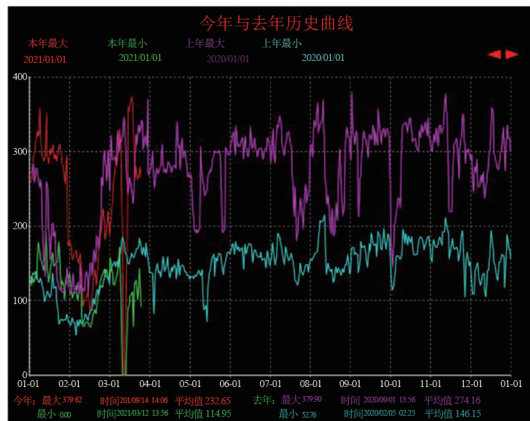
$$Q = I^2 R t \quad (1)$$

式中: Q 为接触点产生热量; I 为通过接触点的电流; R 为缺陷点的接触电阻; t 为发热时间。

基于上面的分析,查询了该主变压器 3 年内的负载情况,如图 4 所示。根据负载监测数据可知,尽管负载存在波动,但是其最大负载小于 400 A。这远小于该型有载分接开关的最大允许通过电流,可以基本排除第一种解释。再深入分析隐患部位可知,动触头组转轴出现了烧结,周围的发黑部位都是以转轴为中心,远离转轴的部位颜色变浅,这符合过热缺陷的特征。这说明转轴部位正是接触电阻增大的部位。通常转轴接触电阻增大的原因,普遍的解释为设备老化引起。但该型有载分接开关的检修经验表明,在切换次数不高的情况下,相比其他厂商的产品,其有载分接开关的油室油碳化严重,油中碳颗粒浓度较高。因此,当有载分接开关长时间不动作时,碳颗粒侵入动触头组转轴部位缝隙并集聚,增大接触电阻并在电流作用下发热,最终引起该部位烧结。



(a) 2019—2020年



(b) 2020—2021年

图 4 3 年时间内的负载情况

由于该有载分接开关所处主变压器经常重载,

分接开关继续运行下去,可致缺陷扩大导致整个动触头组烧毁,或引发剧烈拉弧诱发严重事故。因此,及时将该分接开关的切换开关芯子进行了处置,将双侧主动触头组全部更换,并将主触头表面镀银。将修复后的切换开关芯子复装后,接触电阻和高压侧直流电阻测量数据正常,如表 4 和表 5 所示;修复后触头组如图 5 所示。

表 4 修复后的三相奇数偶数挡的接触电阻测量

单位: $\mu\Omega$

挡位类别	A 相	B 相	C 相
奇数挡	181	187	216
偶数挡	228	208	199

表 5 修复后的三相高压侧绕组直流电阻试验

挡位	直流电阻/ $m\Omega$			误差/%
	A-O	B-O	C-O	
1	410.5	410.9	412.5	0.486
2	404.2	404.3	405.9	0.420
3	396.6	397.2	398.4	0.453
4	390.3	390.5	392.1	0.460
5	383.3	383.6	385.1	0.469
6	376.8	376.8	378.6	0.477
7	369.7	370.0	371.5	0.486
8	363.2	363.3	364.9	0.467
9	355.3	355.1	355.8	0.197
10	363.0	363.2	364.4	0.385
11	369.6	370.0	371.2	0.432
12	376.7	376.9	378.3	0.424
13	383.2	383.7	385.0	0.469
14	390.3	390.5	391.9	0.409
15	396.8	397.4	398.7	0.478
16	403.9	404.2	405.3	0.346
17	410.3	410.9	412.2	0.462



图 5 修复后的触头组

4 结 论

上面针对一起 220 kV 主变压器有载分接开关触头烧损缺陷,基于其基本结构和动作原理,分析了

