

# 一起油流继电器重瓦斯误动事故分析

邱 炜,郑荣锋,黄 鑫,刘 君,陆晓彬,胡 林,徐清鹏  
(国网四川省电力公司成都供电公司,四川 成都 610041)

**摘要:**文中结合一起有载分接开关油流继电器重瓦斯保护误动导致220 kV变压器跳闸事故展开分析。通过对油流继电器干簧管的绝缘电阻测试、试验,结合现场检查、试验情况和故障录波对事故动作逻辑进行反复推演分析,找到了油流继电器干簧管的设计缺陷及事故诱因,并提出合理的整改建议。

**关键词:**变压器;有载重瓦斯;游离碳;事故分析

**中图分类号:**TM 77 **文献标志码:**B **文章编号:**1003-6954(2022)04-0087-04

**DOI:**10.16527/j.issn.1003-6954.20220417

## Analysis of An Accident Caused by Heavy Gas Misoperation of Oil-flow Relay

QIU Wei, ZHENG Rongfeng, HUANG Xin, LIU Jun, LU Xiaobin, HU Lin, XU Qingpeng  
(State Grid Chengdu Electric Power Supply Company, Chengdu 610041, Sichuan, China)

**Abstract:** A 220 kV transformer tripping accident caused by heavy gas misoperation of oil-flow relay in on-load tap-changer (OLTC) is analyzed. Through the test and examination of the insulation resistance of reed switch in oil-flow relay and combined with the fault recording wave, the accident action logic is repeatedly deduced and analyzed. The root causes of the accident and a design defect of reed switch in oil-flow relay are found out, and some reasonable suggestions are put forward.

**Key words:** transformer; heavy gas of OLTC; free carbon; accident analysis

## 0 引言

电力系统常常因负荷变化导致电网电压波动,为缓解电网压力,有载分接开关需频繁切换而极易发生故障,影响变电站的安全运行<sup>[1]</sup>。油流继电器是变压器调压系统中的重要组成部分,其内部有轻瓦斯保护和重瓦斯保护接点,运行中的有载分接开关油流继电器通常只要求保留两组重瓦斯保护接点。当有载分接开关内部存在缺陷时,容易在调压过程中产生剧烈电弧,并生成大量气体。气体随着油流朝着油枕方向涌动,作用在有载油流继电器的下挡板。当油速达到油流继电器动作整定值时,重瓦斯保护动作,电力变压器三侧断路器跳闸<sup>[2-3]</sup>。

据相关数据分析,电力变压器事故中有40%以上为有载分接开关发生故障导致,因此统计并分析由有载分接开关故障导致电力变压器误动以及故障

的典型事故具有十分重要的工程意义和现场需求<sup>[2,4]</sup>。下面基于一起由220 kV等级电力变压器有载分接开关的油流继电器重瓦斯保护误动引起的变压器三侧断路器跳闸的案例,结合现场检查、油化试验、高压试验、保护及故障录波等情况,对事故经过、误动原因进行了分析总结,并提出了具有现场指导性的建议以及预防控制措施。

## 1 事故过程及处理

2020年6月10日,220 kV某变电站发生有载油流继电器重瓦斯保护误动事故。事故发生前接线方式220 kV、110 kV均为双母接线,10 kV为单母分段接线,共两台变压器。故障前220 kV、110 kV分段断路器均在合位,10 kV分段断路器在分位,两台变压器处于并列运行状态。

该变电站2号主变压器由保定天威保变电气股

份有限公司生产,产品型号为 SSZ-240000/220,2009 年出厂。有载调压开关为瑞典 ABB 公司生产,型号为 UCLRN650/900/Ⅲ,额定电流为 700 A,2009 年出厂。有载油流继电器为 EMB 公司生产,型号为 URF 25/10,整定流速为 3.0 m/s,2009 年出厂。

2020 年 6 月 10 日 6:55:10.894 时,该变电站 2 号主变压器非电量保护装置启动,17 ms 后有载重瓦斯保护动作,27 ms 后主变压器三侧 202、102、902 断路器跳闸,10 kV 备自投正确动作合上 912 断路器带 10 kV II 母负荷。故障发生时变压器运行工况良好,有载调压开关未进行调挡操作。

事故发生后现场检查发现:有载调压开关在 1 挡位置;油流继电器内集有瓦斯气体(如图 1 所示);重瓦斯保护挡板并未动作(一旦挡板动作,必须手动复归);油流继电器芯子内干簧管接线桩积有游离碳(如图 2 所示),干簧管密封良好无破损。现场试验:有载调压开关油室绝缘油耐压试验合格;变压器直流电阻、分接开关切换波形、开关过渡电阻合格;但两组重瓦斯保护接点绝缘电阻为 0.3 MΩ,偏低。保护及故障录波结果显示,有载重瓦斯保护动作持续时间约 40 s,随后重瓦斯保护及故障录波信号返回;现场检查二次回路接线正确,二次重瓦斯回路绝缘及保护出口试验等结果正确。非电量保护动作期间及保护动作时刻,无 2 号变压器差动及后备保护启动或异常报告。



图 1 瓦斯内部存在大量气体

该有载调压开关总调挡次数 7336 次,2019 年 12 月停电检修时变压器直流电阻、有载分接开关切换波形均无异常,油流继电器接点绝缘电阻无异常,检修时对有载调压开关的切换油室进行了换油处理。近几个月调挡次数分别为 6 月 6 次,5 月 8 次,4 月 12 次,3 月 4 次,最近一次调挡时间为 6 月 9 日 23 时,由 2 挡调至 1 挡运行。

综合现场保护动作信息分析情况,当即决定将



图 2 干簧管接线处游离碳

2 号变压器有载重瓦斯保护接信号、有载压力释放信号接跳闸,调试合格后将该变压器定挡投入运行,15:40 送电成功。

## 2 油流继电器结构与基本原理

油流继电器主要由接线盒与引线口、法兰连接、试验与复位探针、玻璃观察窗以及继电器本体组成,其中:玻璃观察窗可直接观察继电器内部集气情况和继电器各功能元件状态;试验与复位探针用于检修人员对继电器进行动作测试,同时在继电器动作后进行复位(重瓦斯挡板动作后,不能自动复位,需人工手动复位);继电器引出两组出线,并接入二次保护系统<sup>[5-6]</sup>。油流继电器内部结构如图 3 所示。

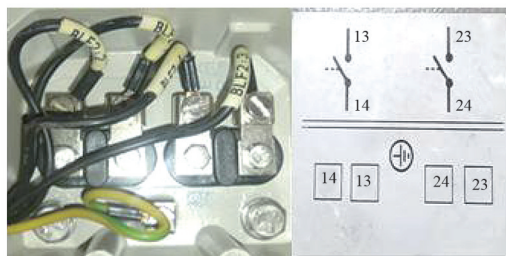


图 3 油流继电器内部结构

油流继电器的基本原理是:当有载分接开关由于故障产生强烈气体造成向油枕方向的高速油流,并且油流速度超过限定数值(整定值为 3.0 m/s)时,有载油流继电器将通过挡板与恒磁磁铁的联动,使玻璃干簧管内触点闭合,启动跳闸信号<sup>[7-8]</sup>。

## 3 事故原因分析

变压器跳闸前无调挡动作,运行工况良好,故障后变压器本体及附件未见异常;变压器绕组直流电阻、有载分接开关切换波形、变压器过渡电阻等试验均无异常,变压器本体油色谱数据正常(见表 1);基本排除变压器本体故障可能。同时,油流继电器挡板未动作,说明油流速度未超过整定值,有载调压开

关切换芯子油室油耐压合格,也可排除有载调压开关内部故障可能。

表1 变压器本体油色谱试验结果

项目	含量	注意值
脱气量/ml	4.0	
氢气 $H_2/(\mu L \cdot L^{-1})$	1.2	150
一氧化碳 $CO/(\mu L \cdot L^{-1})$	10.3	
二氧化碳 $CO_2/(\mu L \cdot L^{-1})$	256.3	
甲烷 $CH_4/(\mu L \cdot L^{-1})$	0.6	
乙烯 $C_2H_4/(\mu L \cdot L^{-1})$	0	
乙烷 $C_2H_6/(\mu L \cdot L^{-1})$	0	
乙炔 $C_2H_2/(\mu L \cdot L^{-1})$	0	5
总炔 $/( \mu L \cdot L^{-1} )$	0.6	150

注:检测结果判断依据为 DL/T 722—2014《变压器油中溶解气体分析和判断导则》。结论为正常。

故障后检查油流继电器干簧管端部接线部位有游离碳,重瓦斯接点绝缘电阻低。该 240 MVA 变压器配备的是瑞典 ABB 公司原装、额定电流为 700 A 的有载调压机构(而目前 240 MVA 变压器一般装配额定电流 1000 A、串联双断口、4 个过渡电阻的有载调压机构),其切换电流裕度较小,有载切换过程中电弧在油中燃烧产生的大量游离碳在涌流作用下进入油流继电器,附着于干簧管正负电引出线端部,长期累积形成放电小桥,造成绝缘降低甚至击穿。

有载保护配备的是 EMB 公司原装油流继电器,该产品采用早期设计,干簧管端部附近两引线的绝缘仅靠引线表面一层绝缘管包裹隔离。所述事故中,干簧管端部受到接点两侧正负电压的影响(直流电压 220 V),较容易吸附有载切换过程中产生的游离碳,且游离碳会根据正负电荷产生的电场方向,较有规律地排列形成放电小桥。随着运行时间地增加,干簧管端部两引线间逐渐布满游离碳。

同时,该油流继电器早期产品端部引线的绝缘极易破损,绝缘破损后极易通过游离碳导通,从而导致了瓦斯保护的误动。因此 EMB 公司在后期新产品中做了改进,如图 4 所示。新产品在干簧管端部引线间采用绝缘材料包裹后,在内部浇注环氧树脂,增强了端部绝缘强度。即使有载切换中累计产碳量较大,并且在干簧管附近堆积,也不会导致接点两侧的引线导通。

此外,油流继电器与油枕间连接管设计不当,该连接管采用“L”型 90°折弯钢管,折弯处内径减小,造成切换过程中产生的瓦斯气体无法通畅进入油枕,集聚在油流继电器上部,将干簧管暴露于瓦斯气体中。当干簧管端部放电小桥积碳中混杂的液态有



图4 改进型干簧管

载油在重力作用下断断续续滴落,进一步降低放电小桥电阻,最终形成近似短路的放电通道导致击穿。

变压器停电后完成油流继电器更换,将拆下的油流继电器进行绝缘电阻测试,一组接点绝缘电阻为 0(节点 13-14);另一组接点绝缘电阻为大于 1000 MΩ(节点 23-24)。将干簧管端部游离碳擦拭干净后,两组接点绝缘电阻均大于 1000 MΩ。试验结果见表 2。

表2 故障油流继电器节点绝缘电阻

节点名称	绝缘电阻/MΩ		备注
	清洗前	清洗后	
13-14	0	>1000	故障节点
23-24	>1000	>1000	正常节点

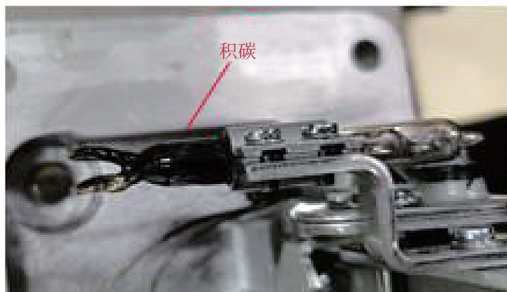


图5 干簧管端部游离碳清理前



图6 干簧管端部游离碳清理后

经诊断,该油流继电器重瓦斯保护误动根本原因为干簧管引线绝缘设计缺陷导致。由于连管油路



不畅,在有载调开关切换过程中油流继电器汇集气体,覆满游离碳的干簧管引线暴露在空气中产生了放电小桥,形成近似短路的放电通道导致击穿,造成油流继电器重瓦斯保护误动。

## 4 改进措施

电力变压器误动将极大地影响电力系统的安全稳定运行,案例所发现的有载重瓦斯保护误动以及该型号油流继电器的家族性缺陷对电力变压器的安全稳定运行造成极大隐患,因此提出以下建议:

1) EMB 公司早期类型油流继电器由于存在部分设计缺陷,建议配合停电检修周期对油流继电器进行开盖检查,清除积碳,若干簧管绝缘设计存在缺陷应立即更换油流继电器;

2) 对存在油路设计不合理的变压器进行整改,预防油路不通导致有载切换过程中产生的瓦斯气体无法通畅进入油枕,集聚在油流继电器上部,将干簧管暴露于瓦斯气体中;

3) 同时强化变压器本体及有载油流继电器油路的验收要求,杜绝存在类似油路不畅隐患的变压器投运,加强变压器油流继电器的巡视力度,及时发现并消除类似隐患。

(上接第 76 页)

## 3 结论

通过上述分析,此次故障在动作时间上,虽然看似 220 kV 变电站 1 号主变压器中后备保护动作时间早于线路保护装置零序过流 II 段保护和距离 II 段保护动作时间不合理,但实则为中间经过故障多次转换导致的。主变压器保护电流元件采用相过流元件,中间无间断;线路保护的零序过流元件发生间断导致重新进行故障判断;距离 II 段保护同样由于间断导致重新进行故障判断,产生一段延时。鉴于故障的特殊性,可以判定此次故障期间主变压器保护和线路保护间的定值配合并无问题,保护装置均为正确动作。

### 参考文献

- [1] 赵丹,孙红军.电气设备事故分析及解决方案[J].科学技术创新,2020(21):186-187.

### 参考文献

- [1] 赵全胜,胡伟,刘新海,等.110 kV 主变有载分接开关故障引起重瓦斯跳闸分析[J].变压器,2017,52(7):45-46.
- [2] 黄鑫,陆晓彬,胡林,等.一起有载切换开关故障引起的 110 kV 变压器运行事故原因分析[J].四川电力技术,2019,42(3):80-86.
- [3] 陈晓云,张伟光.220 kV 变压器重瓦斯事故分析及预防措施[J].电气技术,2018(1):94-96.
- [4] 谢茜,刘睿,张宗喜,等.一起变压器 M 型有载分接开关事故的分析[J].四川电力技术,2020,43(1):63-66.
- [5] 杨军亭,彭鹏,温定筠,等.一起变压器有载分接开关事故分析[J].变压器,2016,53(2):65-67.
- [6] 满凯凯,刘爱丽,王政,等.有载分接开关故障引起主变跳闸事故分析[J].电工电气,2019(12):72-73.
- [7] 王楠,孙成,刘宝成,等.220 kV 变压器有载分接开关油流继电器故障分析[J].变压器,2014,51(6):74-76.
- [8] 李冠华,金鑫,李爽.换流站有载调压开关油流继电器动作分析[J].东北电力技术,2014(11):29-30.

### 作者简介:

邱 炜(1985),男,硕士,高级工程师,主要从事变电设备检修、技术监督工作;

郑荣锋(1993),男,硕士,助理工程师,主要从事变电设备检修工作。(收稿日期:2021-12-21)

- [2] 张玉玺,王静.一起 110 kV 线路距离保护动作案例分析[J].农村电工,2021,29(8):47-48.
- [3] 汪曼乙.继电保护越级跳闸故障分析与处理[J].铜业工程,2021(2):93-96.
- [4] 程嘉诚,许超,邓晨,等.线路保护拒动导致主变后备保护动作的事故分析[J].电工电气,2021(3):45-51.
- [5] 季委.110 kV 变电站继电保护的故障与对策[J].电力设备管理,2021(4):159-160.
- [6] 王向丽,许刘峰,刘宁超,等.110 kV 紫 1 号主变差动保护动作分析[J].电世界,2021,62(6):14-17.
- [7] 高慧,周泽民.某 110 kV 变电站 2 号主变故障及处理分析[J].大众用电,2021,36(4):55-56.
- [8] 黄岗,冉梦东,陈挺,等.110 kV 坪桥变 1 号主变压器 35 kV 侧越级跳闸分析[J].农村电气化,2021(4):40-41.
- [9] 谢伟,赵鸣鸣,陈硕,等.一起 220 kV 变压器短路事故分析[J].河南科技,2020(22):120-122.

### 作者简介:

赵晓东(1986),男,高级工程师,从事继电保护工作;

李 锋(1989),男,工程师,从事继电保护工作。

(收稿日期:2021-12-17)