

# 一起主变压器套管将军帽发热故障的分析与处理

李 林

( 国网德阳供电公司 四川 德阳 618000)

**摘要:** 红外测温发现一起 110 kV 主变压器高压侧套管将军帽发热故障,介绍了故障的检查处理过程,并对发热故障的原因进行了分析,分析表明引线头固定座的销孔破裂是导致本次故障的直接原因。最后针对此类故障,对套管的生产、装配、日常维护以及过程监督等提出了整改措施。

**关键词:** 变压器套管; 将军帽; 发热; 整改措施

**Abstract:** A heating defect on HV bushing coupler of 110 kV main transformer is discovered by infrared temperature measurement. The treatment process is introduced, and the reasons of heating defect are analyzed. The analysis shows that the fracture of pinhole of lead top fixing base is the direct cause of this defect. Aiming at such defects, the rectification measures are presented for the production, assembly, daily maintenance, process supervision and so on.

**Key words:** transformer bushing; coupler; heating; rectification measures

中图分类号: TM406 文献标志码: B 文章编号: 1003-6954(2016)04-0050-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2016.04.009

## 0 引言

变压器高压套管对高压绕组引出线起绝缘和支持作用,其套管顶部的将军帽是变压器套管与外部引线连接的重要部件<sup>[1]</sup>。近些年,在电力系统中发生了多起变压器运行事故,其中变压器套管的事事故率占了很大的比例<sup>[2]</sup>。下面介绍一起主变压器高压侧套管将军帽发热故障的现象及检查处理过程,详细分析发热故障的原因,并针对此类故障提出了整改措施。

## 1 故障现象

2015年3月27日,某110 kV变电站运行人员对1号主变压器进行红外测温,发现主变压器110 kV侧A相套管将军帽处温度为66.6℃,B相套管将军帽处温度为58.6℃,当时现场环境温度为8℃,正常相C相套管将军帽处仅11.7℃,如图1所示。根据所测数据,计算出A相套管发热处相对温差为93.7%,B相套管发热处相对温差为92.7%,根据DL/T 664-2008《带电设备红外诊断应用规范》,电流制热型设备与金属部件的连接相对温差大于80%小于95%为严重缺陷<sup>[3]</sup>。

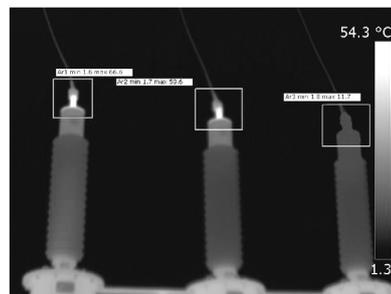


图1 主变压器套管红外测温图

## 2 检查处理过程

### 2.1 故障检查

2015年4月1日安排停电进行检查处理。对该主变压器进行了直流电阻测试,试验数据如表1所示。根据Q/GDW 1168-2013《输变电设备状态检修试验规程》,1.6 MVA以上的变压器相电阻不平衡率不应大于2%<sup>[4]</sup>,判定直流电阻不平衡率严重超标,并且A相、B相每一挡的直流电阻值都比C相大20 mΩ左右。结合红外测温结果,判定套管将军帽与导电杆接触不良,于是对三相套管将军帽逐一进行检查处理。

取下将军帽与套管的4个密封螺栓,发现A、B两相套管的将军帽松动,引线头固定座的销孔破裂,

表1 主变压器直流电阻测试数据

| 挡位 | $R_{OA}$<br>/mΩ | $R_{OB}$<br>/mΩ | $R_{OC}$<br>/mΩ | 不平衡率<br>/% |
|----|-----------------|-----------------|-----------------|------------|
| 1  | 749.8           | 746.1           | 729.3           | 2.81       |
| 2  | 733.5           | 730.6           | 713.9           | 2.75       |
| 3  | 723.3           | 720.2           | 703.6           | 2.79       |
| 4  | 712.1           | 708.8           | 693.4           | 2.69       |
| 5  | 702.1           | 699.4           | 683.2           | 2.77       |
| 6  | 691.9           | 687.7           | 673.1           | 2.80       |
| 7  | 681.9           | 676.8           | 663.1           | 2.83       |
| 8  | 671.5           | 667.3           | 653.0           | 2.84       |
| 9  | 656.1           | 652.7           | 639.2           | 2.65       |
| 10 | 671.9           | 667.5           | 653.5           | 2.82       |

圆柱销已经脱离销孔,向上可以提起将军帽和套管导电杆,如图2所示;而C相则正常。对A相、B相套管进一步检查时,发现将军帽的螺牙和内壁处均有放电痕迹,并且能清楚地看到将军帽的螺牙有过热烧损现象,如图3所示。



a) A相套管拆开将军帽后引线接头图



b) B相套管拆开将军帽后引线接头图

图2 A相、B相套管引线接头结构图

### 2.2 故障处理

针对此故障,首先找到了同厂家同型号套管的引线头固定座,对A、B两相进行了更换。然后对将军帽螺牙、内壁和套管导电杆丝口进行清洁、擦拭。通过处理,增加了将军帽与导电杆的螺纹旋入深度,增大了接触面积。最后在装回将军帽时,在其螺纹上均匀涂抹了导电膏,填补粗丝螺纹以及烧损螺牙之间的空隙。处理完后,对主变压器进行直流

电阻测试,直流电阻值合格,试验数据如表2所示。



a) 将军帽螺牙处过热烧损



b) 将军帽内壁处放电痕迹

图3 将军帽的过热放电现象

表2 将军帽处理后直流电阻测试数据

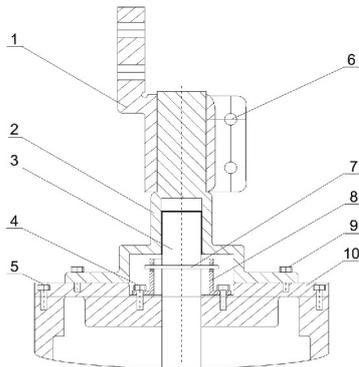
| 挡位 | $R_{OA}$<br>/mΩ | $R_{OB}$<br>/mΩ | $R_{OC}$<br>/mΩ | 不平衡率<br>/% |
|----|-----------------|-----------------|-----------------|------------|
| 1  | 722.7           | 724.0           | 729.0           | 0.87       |
| 2  | 712.9           | 714.0           | 714.1           | 0.10       |
| 3  | 702.9           | 703.5           | 702.8           | 0.10       |
| 4  | 692.0           | 692.1           | 691.9           | 0.03       |
| 5  | 681.7           | 683.1           | 682.5           | 0.21       |
| 6  | 671.8           | 673.3           | 672.7           | 0.22       |
| 7  | 661.8           | 662.9           | 662.6           | 0.17       |
| 8  | 651.7           | 653.0           | 653.0           | 0.20       |
| 9  | 639.7           | 640.3           | 640.8           | 0.17       |
| 10 | 654.3           | 654.3           | 654.9           | 0.10       |

### 3 故障原因分析

该主变压器套管为电容式套管,套管引线接头结构如图4所示。引线头固定座和圆柱销在套管载流回路中起着极其重要的作用,它们使导电杆固定后与将军帽拧紧。因此引线头固定座的好坏在很大程度上决定了导电杆与将军帽的接触情况。

从图2可以看出引线头固定座的销孔破裂、圆柱销向上弯曲,这是因为在套管装配时将将军帽拧得过紧,导致导电杆被迫向上运动。受力分析如图5所示,圆柱销受到导电杆对它的力 $F_1$ ,该力的长期作用使圆柱销向上弯曲;同时,圆柱销为保持平衡,销孔对圆柱销施加 $F_2$ 、 $F_3$ 两个力,根据作用力与反

作用力的关系,销孔同样受到圆柱销对它向上的力,力的长期作用导致销孔破裂。而且,该套管的引线头固定座存在设计缺陷,经测量销孔离边沿大约为2 mm,距离太近,易被圆柱销拉裂。



1、接线板 2、将军帽 3、导电杆 4、螺栓 5、螺栓 6、螺栓 7、圆柱销 8、引线头固定座 9、螺栓 10、防雨帽

图4 套管引线接头结构图

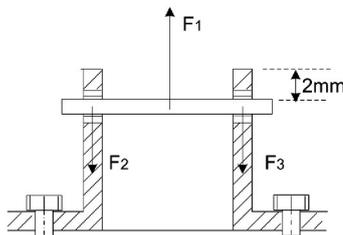
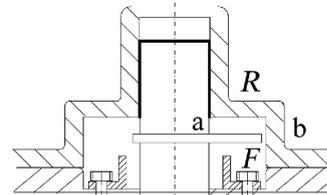


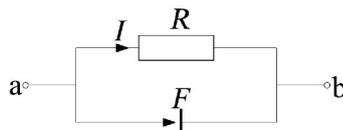
图5 圆柱销的受力分析

从图3可以看出将军帽的内壁处有放电痕迹,这是由于引线头固定座的销孔破裂,致使插在导电杆中的圆柱销失去了固定作用。随着变压器运行时的振动,圆柱销滑向将军帽一边,如图6(a)所示,圆柱销与将军帽内壁间歇接触,造成放电。其相应的等效电路如图6(b)所示,图中 $R$ 为圆柱销、部分导电杆和将军帽三者串联的等效电阻, $F$ 为圆柱销与将军帽内壁之间的“棒-板”间隙。由于 $a$ 点电位大于 $b$ 点电位,通常电流 $I$ 是经过 $R$ 从 $a$ 到 $b$ ,当圆柱销与将军帽内壁接触时,电流 $I$ 经过 $F$ 从 $a$ 到 $b$ ,由于 $F$ 是间歇性接触,其接触电阻较大,将产生发热。另一方面,当圆柱销接近将军帽内壁时,两者之间的电场发生畸变,电子在电场作用下迅速运动,引起气体的不断碰撞电离,产生电子崩,形成流注<sup>[5]</sup>,最终导致电晕放电,致使将军帽的内壁处有放电痕迹。在套管装配时,将军帽与导电杆不断拧紧的过程中,导电杆下面的绕组引线产生了扭矩,此扭矩和螺纹之间的静摩擦力矩形成了暂态平衡。由于引线头固定座的销孔破裂,圆柱销无法使导电杆固定,因此变压器运行时的

振动使将军帽和导电杆之间的静摩擦力减小,造成导电杆扭矩逐渐释放,产生自转,致使导电杆与将军帽之间的退丝、松动,于是接触电阻增大,产生高温发热,导致将军帽螺牙烧损。螺牙烧损又造成将军帽与导电杆之间螺纹连接的公差配合不当,使得接触电阻进一步增大,同时过热也会促使接触电阻增大,加剧过热现象,形成恶性循环。



a) 圆柱销滑向将军帽的实物图



b) 圆柱销滑向将军帽的等效电路图

图6 圆柱销与将军帽之间的位置图

#### 4 整改措施

此故障若不处理,一方面套管将军帽持续发热温度过高,可能造成套管炸裂;另一方面若引线头固定座销孔的破裂部分顺着套管芯道掉进变压器器身内,可能会造成变压器绕组匝间短路,或铁心多点接地。因此,提出以下整改措施预防同类故障发生:

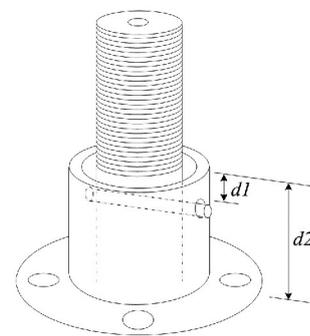
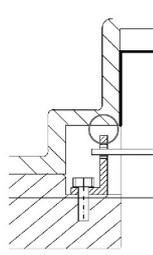


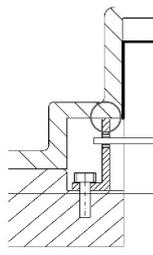
图7 引线头固定座示意图

1) 加强对主变压器套管将军帽处的红外测温监测,尤其是同厂家同型号的套管。对发热严重的套管,尽快停电处理,处理前后进行直流电阻测试;对发热严重但不能及时停电处理的套管,应加强跟踪监测。在停电检修中,发现直流电阻有异常时,应拆下套管将军帽进行检查处理。

2) 在套管装配时,将军帽不能拧的过紧,让引线头固定座销孔承受圆柱销的力减小。



a) 引线头固定座以前的高度



b) 改进后引线头固定座的高度

图8 引线头固定座高度变化示意图

3) 对引线头固定座的质量进行改进,将引线头固定座由铝材质改为铜材质,增加硬度,避免被拉裂。

4) 对引线头固定座的设计进行改进。其一,增大销孔到边沿的距离  $d_1$ 。从图中可以看出增大销孔到边沿的距离后,销孔上面部分就能承受圆柱销更大的力,不易破裂。其二,增大引线头固定座的高度  $d_2$ ,可以避免将军帽过度拧紧,如图7、图8所示。从图8(a)可以看出引线头固定座与将军帽之间还

有空隙,在装配过程中可以不断拧紧将军帽,使圆柱销拉的很紧,受力很大,久之销孔就易破裂。图8(b)中引线头固定座紧紧抵着将军帽,就无法使将军帽过度拧紧,避免圆柱销拉的过紧。

5) 加强对套管安装过程的技术监督,严把每个环节的质量关,从根本上避免此类问题的发生。

## 5 结论

套管是变压器的重要部件,一旦出现问题,需要停运变压器进行检修,这无疑增大了电网的运行风险。因此采取有效的措施对套管进行风险管控,才能及时发现、迅速判断、快速处理问题,保证电网的安全稳定运行。

### 参考文献

- [1] 李建. 运行中变压器套管将军帽发热缺陷分析[C]. 中国电机工程学会高压专委会2007年学术年会论文集, 2007.
- [2] 曹飞翔, 李友忠. 一起220 kV变压器套管接头发热问题的分析及处理[J]. 变压器, 2012, 49(2): 75-76.
- [3] DL/T 664-2008, 带电设备红外诊断应用规范[S].
- [4] Q/GDW 1168-2013, 输变电设备状态检修试验规程[S].
- [5] 文远芳. 高电压技术[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2001.

作者简介:

李林(1984), 硕士、技师、工程师, 现主要从事变电检修相关工作。  
(收稿日期: 2016-03-20)