

# SS4 改进型电力机车牵引变压器故障的跟踪分析

李 霞

(洛阳机务段, 河南 洛阳 471002)

**摘 要:** 针对洛阳机务段一起因 SS<sub>4</sub> 改进型电力机车牵引变压器内部原因造成的色谱分析数据异常故障, 进行了多次变压器吊芯解体和持续跟踪, 通过分析调查, 最终找出了故障的主要原因是铁心迭片的局部放电, 并提出相应改进建议。

**关键词:** SS<sub>4</sub> 改进型电力机车; 牵引变压器; 故障; 持续跟踪分析; 改进建议

**中图分类号:** U269.6; U264.3 **文献标识码:** A  
**doi:** 10.13890/j.issn.1000-128x.2016.02.026

## 1 问题的提出

2011 年 8 月 3 日, 洛阳机务段发现 SS<sub>4</sub>7047 机车 A 节 13008A 号牵引变压器油色谱数据偏高, 氢气、乙炔、总烃含量均远远超过注意值, 因此做 0-1 次辅修(见表 1)。后又分别于 2011 年 12 月 8 日和 2012 年 4 月 16 日进行 2 次滤油, 以测量变压器绕组绝缘和冷态电阻, 对测量正常、滤油后的机车进行跟踪, 发现

表 1 13008A 号牵引变压器于 2011 年 8 月 ~ 2012 年 6 月间的色谱分析数据

| 修程  | 分析日期       | H <sub>2</sub> | CO | CO <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> | C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> | 总烃    |
|-----|------------|----------------|----|-----------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------|
| 0-1 | 2011-08-03 | 15             | 31 | 756             | 895             | 2 937                         | 1 260                         | 71                            | 5 163 |
| 跟踪  | 2011-09-30 | 13             | 41 | 757             | 904             | 2 976                         | 1 277                         | 73                            | 5 230 |
| 0-2 | 2011-10-19 | 17             | 39 | 779             | 910             | 3 100                         | 1 344                         | 76                            | 5 430 |
| 跟踪  | 2011-12-02 | 138            | 47 | 1 008           | 887             | 3 053                         | 1 602                         | 89                            | 5 631 |
| 1-0 | 2011-12-08 | 9              | 9  | 106             | 0               | 43                            | 19                            | 0                             | 62    |
| 跟踪  | 2012-01-18 | 136            | 32 | 854             | 846             | 3 070                         | 1 398                         | 70                            | 5 384 |
| 跟踪  | 2012-02-08 | 117            | 26 | 774             | 752             | 3 042                         | 1 277                         | 56                            | 5 127 |
| 1-2 | 2012-04-13 | 129            | 30 | 826             | 783             | 3 070                         | 1 405                         | 56                            | 5 314 |
| 滤油  | 2012-04-16 | 1              | 7  | 249             | 3               | 174                           | 79                            | 1                             | 257   |
| 2-0 | 2012-06-11 | 38             | 69 | 1 192           | 254             | 1 087                         | 386                           | 11                            | 1 738 |

注: ① 0-1、0-2 为机车第 1、2 次辅修, 1-0、2-0 为机车第 1、2 次小修, 1-2 为机车第 1-2 次辅修; ② 各气体含量单位为  $\mu\text{L/L}$ 。

气体含量再次迅速增长。2012 年 6 月 11 日洛阳机务段进行第 1 次吊芯检查, 发现了一些问题, 但修复的变压器上车后仍出现油色谱分析超标问题。2013 年 7 月 ~ 2014 年 11 月间洛阳机务段联系该变压器入大修, 和大修厂一起对该变压器进行持续检查跟踪, 吊芯 4 次, 解体铁心 1 次。

## 2 对故障性质和故障点温度、位置的预测

从表 1 数据计算三比值编码为 0 2 1。按三比值法初步判断为 300~700℃ 低中温范围过热故障。

变压器过热故障按出现位置分为导电回路、导磁回路、其他部位过热故障等。通常产生低分子烃类气体,  $\text{CH}_4$ 、 $\text{C}_2\text{H}_4$  为特征气体, 一般二者之和占总烃的 80% 以上。当故障点温度较低时,  $\text{CH}_4$  比例相对较大, 随热点温度升高 (500℃ 以上),  $\text{C}_2\text{H}_4$  组分急剧增加, 比例增大。 $\text{H}_2$  含量也与热点温度关系密切, 高、中温过热时,  $\text{H}_2$  占氢烃总量比例低于  $\text{CH}_4$ 、 $\text{C}_2\text{H}_4$ 、 $\text{C}_2\text{H}_6$  这些烃类气体, 是因为此时烃类气体含量增加快,  $\text{H}_2$  含量增加慢, 故比例降低。通常热故障不会产生  $\text{C}_2\text{H}_2$ , 一般低于 500℃ 的过热,  $\text{C}_2\text{H}_2$  占总烃含量不会超过 2%; 严重过热 (800℃ 以上) 时, 也会产生少量  $\text{C}_2\text{H}_2$ , 但最大含量也不会超过 6%。2012 年 2 月 8 日  $\text{CO}_2$  和  $\text{CO}$  的比值为 27, 高于 11, 常规推测为固体绝缘材料的劣化, 比值高但实际数值并不高, 所以排除这种可能。

从表 1 可知 2011 年 12 月 8 日第 1 次滤油后迅速增长的主要气体为  $\text{CH}_4$ 、 $\text{C}_2\text{H}_4$ 、 $\text{C}_2\text{H}_6$ , 伴随  $\text{C}_2\text{H}_2$  气体和  $\text{H}_2$  的增长。 $\text{CH}_4$  占总烃含量的 15.7%,  $\text{C}_2\text{H}_4$  占总烃含量的 57%,  $\text{C}_2\text{H}_6$  占总烃含量的 26%,  $\text{H}_2$  占总烃含量的 2.53%,  $\text{C}_2\text{H}_2$  占总烃含量的 1.3%。

根据变压器热点温度经验计算公式 (按 2012 年 1 月 18 日数据计算):

$$T=322 \times \lg (C_2H_4/C_2H_6)+525=$$

$$322 \times \lg (3070/1398)+525=635^\circ\text{C}$$

同理估算 2011 年 8 月 3 日到 2012 年 4 月 13 日的热点温度是  $(635 \pm 10)^\circ\text{C}$ , 2012 年 4 月 16 日滤油后, 6

月 11 日跟踪数据计算出的热点温度超过 669℃。

热点温度超过 500℃，C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> 占总烃含量小于 2%，故分析该变压器属导磁回路过热故障。推测可能是磁通集中引起的铁心局部过热，热点温度依下述情况为顺序而增加：铁心热点，铁心短路，涡流引起的铜过热，接头或接触不良，铁心和外壳的环流。

3 牵引变压器的持续跟踪分析

3.1 第 1 次吊芯检查和跟踪分析

2012 年 7 月 10 日在洛阳机务段吊芯发现平波电抗器铁心上夹件及穿杆螺栓多处松动，紧固后变压器重新装车。滤油后油样正常，半个月后取油样跟踪，色谱分析异常，但总烃含量比第 1 次跟踪含量明显降低，减少约 3 000 μL/L，各类气体含量也降低了约 1 000 μL/L（见表 2），说明第 1 次吊芯检查发现的内部螺栓松动只是气体含量超标的一个因素。

为找出更明确的故障，洛阳机务段缩短跟踪周期，2012 年 9 月至 2013 年 1 月间发现气体增量比吊芯前有所缓和。

表 2 13008A 号牵引变压器于 2012 年 7 月～2013 年 1 月间的色谱分析数据

| 修程  | 分析日期       | H <sub>2</sub> | CO | CO <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> | C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> | 总烃    | 三比值编码 |
|-----|------------|----------------|----|-----------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------|-------|
| 滤油  | 2012-07-10 | 2              | 8  | 294             | 1               | 1                             | 0                             | 0                             | 2     | /     |
| 抽查  | 2012-07-25 | 52             | 56 | 1 113           | 199             | 573                           | 167                           | 4                             | 943   | 0 2 2 |
| 2-1 | 2012-08-16 | 47             | 87 | 2 097           | 309             | 927                           | 273                           | 8                             | 1 517 | 0 2 2 |
| 跟踪  | 2012-09-04 | 77             | 45 | 2 063           | 473             | 1 471                         | 452                           | 16                            | 2 412 | 0 2 2 |
| 跟踪  | 2012-10-12 | 39             | 40 | 1 520           | 455             | 1 755                         | 440                           | 22                            | 2 771 | 0 2 2 |
| 3-0 | 2012-12-06 | 35             | 60 | 1 125           | 353             | 1 629                         | 604                           | 12                            | 2 598 | 0 2 1 |
| 抽查  | 2013-01-14 | 43             | 36 | 1 000           | 333             | 1 685                         | 648                           | 13                            | 2 679 | 0 2 1 |

从表 2 看出，2012 年 7 月 10 日到 9 月 4 日计算三比值编码为 0 2 2，判断可能为高于 700℃的热故障。

根据变压器热点温度的经验计算公式（按 2012 年 7 月 25 日数据计算）：

$$T=322 \times \lg (C_2H_4/C_2H_6) + 525=$$
$$322 \times \lg (573/167) + 525=697.7^{\circ}\text{C}$$

根据变压器热点温度的经验计算公式（按 2013 年 1 月 14 日数据计算）：

$$T=322 \times \lg (C_2H_4/C_2H_6) + 525=$$
$$322 \times \lg (1685/648) + 525=658.6^{\circ}\text{C}$$

据计算，这一时期变压器内部热点温度与上次跟踪数据相比没有降低，最高温度反而增加至近 700℃，比表 1 计算的热点温度增加 30℃，说明内部仍持续放电。2012 年 10 月 12 日到 2013 年 1 月 14 日间的三比值编码为 0 2 1，气体含量超过注意值，但这一时期变压器内部故障没有太大变化，需对变压器全面测量检查。

3.2 第 2 次吊芯检查和跟踪分析

2013 年 1 月 14 日，洛阳机务段全面测量变压器空载电流、空载损耗、绕组绝缘和冷态电阻，发现从软

编织线至导电杆、A 瓷瓶第 1 个裙边处均有放电痕迹（如图 1、图 2 所示），2013 年 3 月联系机车入大修，吊芯后发现内部螺杆有放电点。A 瓷瓶上方的紧固件自上而下依次应该是螺母、铜垫、纸垫、陶瓷压盖、算盘珠状垫、带排气堵的压盖、约 3 mm 厚平密封垫（先涂密封胶），但检查发现在中修段承修时错误把 3 mm 厚的平密封垫用厚算盘珠状垫替代，接触处没有涂密封胶，垫厚达 14 mm，长期运行导致灰尘进入，沿瓷瓶面爬电。

这种局部爬电显然会对变压器油有影响，因为对应 C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> 的含量先高后低，在发现放电时 C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> 含量没有更多增量，分析这种间歇的局部爬电导致了热点温度升高，但与长期存在的热故障并无直接关系，可能内部还有其他隐性故障导致热故障。

在大修时大修厂只进行了变压器吊芯，没有解体，认为 A 瓷瓶第 1 个裙边放电是造成油色谱分析超标的直接原因，只更换了安装垫片和螺杆后就上车运用了。



图 1 13008A 号牵引变压器 A 瓷瓶第 1 个裙边放电



图 2 厚算盘珠状垫错误安装在压盖上

3.2 第 3 次吊芯检查和跟踪分析

变压器装车半个月后，2013 年 6 月 18 日色谱分析又出现异常（见表 3），但跟踪总烃含量比第 2 次跟踪含量略有降低，至 2014 年 1 月 9 日数据与大修前数据相同，三比值编码 0 2 1，说明大修时变压器 A 瓷瓶第 1 个裙边放电不是 2012 年 7 月 10 日到 9 月 4 日间油色谱分析气体含量超标的主要原因。

表 3 13008A 号牵引变压器于 2013 年 6 月～2014 年 1 月间的色谱分析数据

| 修程  | 分析日期       | H <sub>2</sub> | CO | CO <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> | C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> | 总烃    |
|-----|------------|----------------|----|-----------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------|
| 0-1 | 2013-06-18 | 44             | 29 | 875             | 379             | 857                           | 259                           | 6                             | 1 501 |
| 0-2 | 2013-08-02 | 43             | 31 | 856             | 367             | 839                           | 254                           | 5                             | 1 465 |
| 跟踪  | 2013-08-26 | 32             | 26 | 934             | 322             | 970                           | 373                           | 5                             | 1 670 |
| 1-0 | 2013-11-12 | 34             | 18 | 833             | 314             | 985                           | 444                           | 5                             | 1 748 |
| 跟踪  | 2014-01-09 | 55             | 12 | 627             | 455             | 1 251                         | 565                           | 7                             | 2 278 |