

运用检修

电力机车牵引变压器爆裂故障
案例分析及整改

赵建华

(洛阳机务段, 河南 洛阳 471002)

摘 要:通过对 6K 型电力机车牵引变压器爆裂故障的分析, 阐述了其防爆系统设计的缺陷。结合 6K 机车牵引变压器防爆装置技术改造方面的经验, 对 SS₇ 系列机车牵引变压器防爆整改提供了行之有效的参考意见。

关键词:牵引变压器; 爆裂故障分析; 防爆; 整改方案; 6K 型电力机车; SS₇ 系列机车

中图分类号: U269.6; U264.3*6

文献标识码: B

文章编号: 1000-128X(2011)04-0066-02

1 概述

6K 型电力机车在洛阳机务段已运用 20 余年, 2003 年 9 月 6K-K36 机车在运用期间曾发生过 1 起变压器线圈短路故障引起的油箱爆裂事故。检查为牵引变压器高压绕组匝间短路引起变压器高压侧油箱爆裂, 裂损长度达 300 mm, 而安装于储油箱上的防爆膜未动作。该次事故暴露了该变压器的一个重大安全隐患, 引起了段方警惕。为此, 2006 年 11 月, 在 6K 机车牵引变压器进行轻大修的前期, 洛阳机务段首次提出了对牵引变压器防爆装置进行技术改造的方案并报部局付诸实施。3 年后的 2009 年 7 月兰州铁路局 SS₇c0026 机车牵引变压器爆炸、箱体爆裂造成机车火灾事故, 为此铁道部下发了《关于印发 SS₇ 系列机车牵引变压器防爆装置改造方案的通知》(运装机检[2009]645 号), 要求对 SS₇ 系列机车牵引变压器防爆装置进行改造。2009 年洛阳机务段参与了防爆装置改造方案的制定工作, 根据经验提供了重要的改造意见。

2 6K 机车牵引变压器爆裂故障原因分析

因为变压器线圈短路故障发生后一次侧过流会引起主断路器跳开, 箱体内由于事故点瞬间释放很大能量, 变压器油局部分解汽化, 压力骤增至正常工作压力的几十倍, 使变压器油产生液态冲击, 变压器油箱易产生爆裂事故。同时, 变压器油高温汽化后所产生的气体是易燃易爆的瓦斯类气体(即甲烷、乙烷、氢气等), 当变压器油箱裂后, 油流出箱体后外部空气会马上进入箱体与瓦斯类气体混合, 此时如闭合主断路器,

定会引起变压器爆燃事故, 事故扩大时会引发整台电力机车烧损事故。

通过 6K-K36 机车事故分析, 发现该变压器设计存在重大缺陷。其一是防爆膜放置位置不合理, 其设置在储油箱的顶部走廊侧, 无法保证故障后的油压通过防爆膜释放。由流体力学可知, 液体在冲击力的作用下, 液体的压力传导与重力、惯性力、质量、密度、粘接度、摩擦损失等有关, 特别是还与其传递的距离和曲折度有较强的梯度关系, 其正确位置应是最靠近故障点的地方, 而且是故障油流的第一次冲击方向, 即在变压器下部的变压器箱体高压引线侧和低压引线侧各安装 1 个。因为该变压器结构为组合式变压器, 上部为平波电抗器, 其发生故障的机率较小, 下部为壳式变压器, 其匝电压达 50 V, 容易发生短路故障, 且故障后释放的能量也相当大。因其绕组的特殊结构形式, 其故障油流有明显的方向性, 如图 1 所示, 当故障发生后, 下部分箱体内部的油流冲击无法传递至防爆膜释放, 极易造成油箱开裂。其二是如果 6K 机车牵引变压器出现油箱爆裂故障后, 因一次侧过流主断路器跳开, 而此时司机无法判定主断路器因何原因引起跳开, 容易造成二次合闸, 易引起变压器产生爆燃事故。

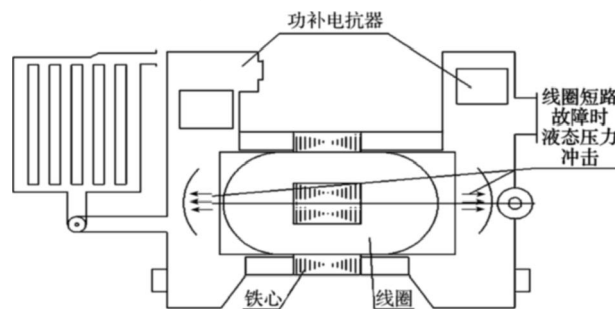


图1 线圈短路故障时液态压力冲击示意图

3 技术改造及效果

3.1 技术改造

通过对 6K 机车牵引变压器安全隐患的技术分析, 从 2006 年 12 月开始洛阳机务段对变压器进行了技术改造。改造方案是在 6K 机车牵引变压器下部油箱两侧加装 2 个型号为 YSF5-55/50KJW 压力释放阀。改造后的变压器见图 2、图 3 所示, 每个压力释放阀都处于故障油流的第一次冲击方向, 有效保护了变压器的运行安全。

3.2 效果

在 6K 机车牵引变压器进行轻大修的早期, 还没有加装压力释放阀, 出现了一起 6K-K57 机车牵引变压器故障, 该车于 2006 年 11 月轻大修, 2007 年 5 月由于变压器线圈短路引起了内部绕组烧损部位扩大、多个二次侧 S 抽头出现大裂纹的故障。

现已改造完的 30 余台 6K 牵引变压器, 从目前情况来看效果较好。在这 30 余台 6K 机车牵引变压器中, 2009 年有 2 台(6K-K23、6K-K62)曾发生故障, 2009 年 2 月 6K-

收稿日期: 2010-12-31; 收修改稿日期: 2011-06-03

K23 机车牵引变压器一次侧抽头放电烧损非常严重，但因压力释放阀有效动作，油箱壁仅有轻微变形，S 抽头保护完好，内部绕组无烧损；而2009年5月7日6K-K62 机车因仅内部放电部位烧损，其他线圈均良好无损，油箱没有任何变形未造成事故进一步扩大化，证实该改造方案有效可靠。

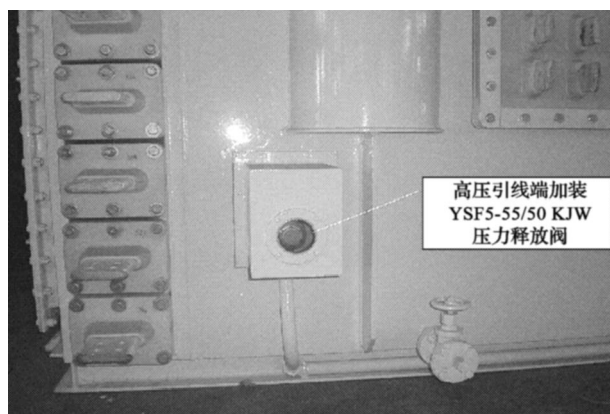


图2 加装压力释放阀后的牵引变压器（一侧）

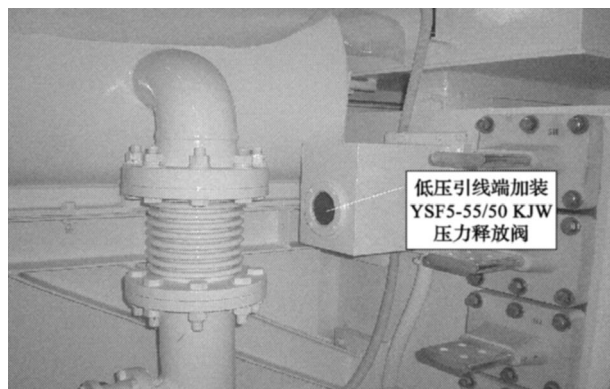


图3 加装压力释放阀后的牵引变压器（另一侧）

4 SS7 系列机车牵引变压器防爆整改方案

4.1 整改方案

根据对6K 机车牵引变压器第一次成功技术改造的经验，进一步对6K 机车牵引变压器运行安全进行分析，现准备对6K 机车牵引变压器做第二次技术改造。第一，增加压力释放阀跳主断路器功能，当变压器发生故障压力释放阀动作将变压器油喷出快速泄压，同时压力释放阀的自锁辅助触头跳开主断路器，且此触头需手动复位，避免变压器发生故障后二次合主断路器造成变压器故障扩大；第二，在平波电抗器箱体上增加一个型号为YSF5-35/80KJW的压力释放阀，当平波电抗器发生故障时作出有效保护。通过以上改进，6K 机车牵引变压器在发生短路故障时应能够得到有效保护和控制，确保该变压器不会发生重大的安全事故。

该方案在SS7 系列机车变压器的改造中得到采纳

运用。

SS7 系列机车的牵引变压器是根据6K 机车牵引变压器为蓝本设计制造的，结构上跟6K 机车牵引变压器相似。根据对6K 机车牵引变压器的成功改造经验和所掌握的技术，2009 年对SS7 系列机车牵引变压器改造方案提出如下的建议。

①在下部变油箱的高压引线侧和低压引线侧各加装一个型号为YSF5-55/80KJW的压力释放阀。

②在上部平波电抗器油箱侧部所装的压力释放阀建议选用型号为YSF5-35/80KJW的压力释放阀，且所有加装的压力释放阀均须具有与主断路器联锁的功能。

4.2 压力释放阀选型计算

压力释放阀开启压力选取：压力释放阀开启压力选取必须先确定牵引变压器的关闭压力大小，然后确定合适的开启压力等级。关闭压力计算公式为：

$$P_M = P_J + P_K + P_Q$$

其中： $P_J = V \cdot h$

式中： P_M ——关闭压力，kPa； P_J ——压力释放阀所有静压值，kPa； P_K ——附加安全裕度压力（5~7 kPa）； P_Q ——强油循环冷却器安全裕度压力（5~7 kPa）； V ——单位高度油柱压，kPa/m（注 V 常数为8.826 kPa/m）； H ——最高油压处至压力释放阀底部的距离，m。

高低压线圈油箱计算：

$$P_J = 8.826 \times 1.6 \approx 14.122 \text{ kPa}$$

$$P_M = 14.122 + 7 + 7 = 28.122 \text{ kPa}$$

平波电抗器油箱计算：

$$P_J = 8.826 \times 0.3 = 2.6478 \text{ kPa}$$

$$P_M = 2.6478 + 7 + 7 = 16.6478 \text{ kPa}$$

根据计算出来的关闭压力参数选取开启压力参数（见表1）。

表1 JB/T7065—2004 变压器压力释放阀基本技术参数 kPa

开启压力	开启压力偏差	关闭压力	密封压力
15	±5	≤ 8	≤ 9
25	±5	≤ 13.5	≤ 15
35	±5	≤ 19	≤ 21
55	±5	≤ 29.5	≤ 33
70	±5	≤ 37.5	≤ 42
85	±5	≤ 45.5	≤ 51

所以综合上述公式和表1，牵引变压器油箱和平波电抗器油箱的压力释放阀开启压力应选取55 kPa 和35 kPa。

喷油口径选取：喷油口径越大越能增加泄压能力、泄压作用半径，同样可以吸收压力冲击，降低压力梯度，但要综合考虑油箱机械强度。根据对SS7 机车变压器油箱强度的分析综合取直径为80 mm 的喷油口径。