

文章编号: 1674—8247(2019)03—0006—04
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2019.03.002

高速铁路变电所 35kV 油浸式变压器故障分析

韦 强

(中国铁路兰州局集团有限公司, 甘肃 嘉峪关 735100)

摘 要:为便于供电运营人员在日常电气设备预防性试验检修中能及时发现潜在的故障和隐患,本文对某电气化高速铁路牵引变电所变压器故障进行梳理分析,重点对故障所用变诊断过程中的一些电气试验项目及数据进行研究。研究表明:(1)设备制造厂家对运行在高寒、高海拔环境中的设备应增大绝缘裕度;(2)运营单位须加强设备检测、监测手段,缩短设备试验检查周期,使电气设备可靠运行。分析结果可为同类项目提供借鉴。

关键词:变压器;故障;试验;分析

中图分类号:U224.2⁺2 **文献标志码:**A

Fault Analysis of 35kV Oil-immersed Transformer for High-speed Railway Substation

WEI Qiang

(China Railway Lanzhou Group Co., Ltd., Jiayuguan 735100, China)

Abstract:In order to facilitate power supply operators to timely find potential faults and hidden dangers in daily preventive test and maintenance of electrical equipment, this paper sorts out and analyzes transformer faults in the traction substation of an electrified high-speed railway, focusing on some electrical test items and data in the process of fault diagnosis. Research shows that: (1) equipment manufacturers should increase the insulation margin for equipment in the cold and high altitude environment; (2) the operating company shall strengthen the means of equipment testing and monitoring, shorten the period of equipment test and inspection, and ensure the reliable operation of electrical equipment. The analysis results can provide reference for similar projects.

Key words:transformer; failure; test; analysis

随着我国电气化铁路的快速发展,铁路交通运输在国内运输行业当中起着举足轻重的作用,铁路的安全运行不仅影响国民经济的发展,同时也关系着人民生命财产安全。因此,深入研究设备运行情况,不断优化设备运行质量,对提高牵引供电系统的安全性和可靠性、保证设备的正常运行具有重要的实际意义。

1 故障概况

在配合某交直流厂家对某高速铁路变电所交直流设备进行检查及缺陷处理时,发现交流屏有告警信息。对1号进线电压测量时,发现B相无压,在申请拉开所用变隔离开关对1号所用变熔断器进行检查,发现

收稿日期:2018-01-05

作者简介:韦强(1989-),男,工程师。

引文格式:韦强. 高速铁路变电所 35kV 油浸式变压器故障分析[J]. 高速铁路技术,2019,10(3):6-9.

WEI Qiang. Fault Analysis of 35kV Oil-immersed Transformer for High-speed Railway Substation [J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(3): 6-9.

熔断器熔断,对熔断器进行更换并申请合上隔离开关后听见所用变压器运行音响异常,约1 min后,所用变压器压力释放阀喷油,随即分开所用变压器前端隔离开关,将所用变压器退出运行进行检修。

本线牵引变电所采用35 kV电力油浸式变压器,变压器为三相变压器,接线方式为D-yn-11接线,变压器容量为100 kVA,结构及接线图,如图1所示。

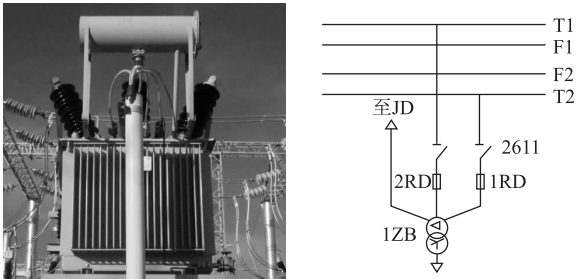


图1 户外35 kV所用变压器结构及接线图

2 所用变压器故障分析

2.1 现场试验数据分析

为查明所用变压器故障原因,对此台故障所用变压器进行直流电阻、变比、绝缘电阻、介质损失角正切值tan&的测量、绝缘油色谱分析试验。

2.1.1 直流电阻测试分析

变压器绕组直流电阻测试可以检查绕组接头的焊接质量、绕组有无匝间短路、电压分接开关的各个位置接触是否良好、分接开关实际位置与指示位置是否相符、引出线有无断裂、多股导线并绕的绕组是否有断股等现象^[1]。直流电阻试验数据,如表1所示。

表1 直流电阻试验数据

直流电阻	高压侧/Ω			低压侧/MΩ		
	AB	AC	BC	ao	bo	co
	150.2	149.9	161	8.114	7.79	8.06

按电气设备试验规程规定:对于1.6 MVA及以下的变压器,相间差别一般不大于三相平均值的4%;线间差别一般不大于三相平均值的2%。

高压侧三线实测值的平均值:

R_AV = 1/3 * (R_AB + R_BC + R_AC) (1)

R_AV = 1/3 * (150.2 + 149.9 + 161) = 153.7 (2)

线间差:

ΔR_x = (R_max - R_min) / R_AV * 100% (3)

AB线与BC线间差:

ΔR_1 = (R_BC - R_AB) / R_AV * 100% = (161 - 150.2) / 153.7 * 100% = 7.03% (4)

AC线与BC线间差:

ΔR_2 = (R_BC - R_AC) / R_AV * 100% = (161 - 149.9) / 153.7 * 100% = 7.22% (5)

对于高压侧绕组的直流电阻AB线与BC线、AC线与BC线线间差值分别为10.8和11.1,差值均大于三线平均值的2%,不符合电气设备试验标准。

为进一步分析三相电阻不平衡的原因,将线电阻换算为相电阻进行对比分析。高压侧接线方式,如图2所示。

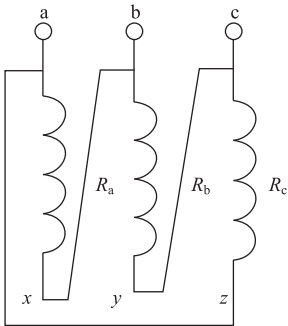


图2 变压器高压侧接线方式

将高压侧线间直流电阻换算为每一相的电阻:

R_P = (R_AB + R_BC + R_AC) / 2 = 230.55 (6)

R_A = (R_AB - R_P) - (R_AC * R_BC) / (R_AB - R_P) = 220.01 (7)

R_B = (R_BC - R_P) - (R_AB * R_AC) / (R_BC - R_P) = 254.17 (8)

R_C = (R_AC - R_P) - (R_AB * R_BC) / (R_AC - R_P) = 219.19 (9)

从三相直流电阻分析可知:高压侧A相与C相电阻是平衡的,B相直流电阻与A相、C相差值较大,所以分析故障应该发生在高压侧的B相。

2.1.2 电压比测量分析

变压器的电压比是指变压器空载运行时一次侧电压U1与二次侧电压U2的比值,通过变比试验可以检查变压器各绕组的匝数、分接开关的状况。尤其变压器故障后,通过测量电压比来检查变压器是否存在匝间短路故障^[2]。变比测试试验数据,如表2所示。

表2 变比测试试验数据

变比测试	电压比	偏差
	A:68.79	Ea = +0.06%
	B:63.41	Eb = -7.77%
	C:68.79	Ec = +0.06%

按电气设备试验规程规定:35 kV 以下的变压器,电压比小于 3 的变压器额定分接头电压比允许偏差为 $\pm 1\%$,其它所有变压器额定分接头电压比允许偏差为 $\pm 0.5\%$ 。

此台所用变压器额定电压比为 $27\,500/400 = 68.75$,从试验数据可知 B 相变比误差符合试验标准。

2.1.3 绝缘电阻测量分析

测量绕组绝缘电阻、吸收比及极化指数能有效的检查出变压器绝缘整体受潮、部件表面受潮或脏污,以及贯穿性的集中性缺陷,如瓷件破裂、引线接壳,器身内有金属接地等^[3]。

绕组绝缘电阻测试数据,如表 3 所示。

表 3 绝缘电阻试验数据

测量方式	绝缘电阻/GΩ
高对低	93.7
低对高	39.6
高低对地	27.6

当时现场试验温度在 10 ℃,按照油浸式电力变压器绕组绝缘电阻的标准值^[4],对于额定电压等级为 20 ~ 35 kV 的变压器,温度在 10 ℃ 时的绝缘电阻标准值为 600 MΩ。同时与历年设备春季预防性试验记录数据进行对比分析,绝缘电阻均符合标准。由于所用变压器容量及电压等级较低,春季预防性试验检修当中未进行吸收比和极化指数的试验。

2.1.4 介质损失角正切值 tanδ 的测量分析

电介质在电压作用下会产生一定的能量损耗,而电气设备的电介质电导、极化及局部放电均会产生介质损耗。绝缘介质损耗的大小,实际也是绝缘性能优劣的一种表示。同一台设备,绝缘良好,介质损耗就小;绝缘受潮劣化,介质损耗就大。通过介质损失角正切值 tanδ 的测量可以发现一些绝缘缺陷,如绝缘整体受潮、老化、绝缘气隙放电等^[5]。介质损失角正切值 tanδ 的测量数据,如表 4 所示。

表 4 介质损失角正切值试验数据

测量方式	电容量 C_x/nF	介质 $D_f/(%)$
高对低	1.222	1.189
低对高	2.540	0.557
高低对地	2.413	1.637

2.1.5 绝缘油色谱分析

变压器内绝缘油在正常运行时,在电和热的作用下,其绝缘油和有机绝缘材料会逐渐老化并分解出少量低分子的烃类、一氧化碳和二氧化碳等气体。当内部发生局部过热、局部放电和电弧放电等故障时,会加

速上述气体的产生速率和数量。通过分析油色谱当中的特征气体的含量可分析判断变压器内部潜在的故障类型^[6]。所用变压器油色谱数据,如表 5 所示。

表 5 变压器油色谱数据

变压器油 色谱试验	特征气体	含量/($\mu L/L$)
	一氧化碳 CO	3 356.59
	二氧化碳 CO ₂	6 850.36
	氢气 H ₂	5 133.10
	甲烷 CH ₄	3 314.98
	乙烷 C ₂ H ₆	549.32
	乙烯 C ₂ H ₄	4 248.59
	乙炔 C ₂ H ₂	3 998.94
	总烃	12 111.83

按照 GB 50150 - 2006《电气设备安装工程电气设备交接试验标准》、DL/T 596 - 1996《电力设备预防性试验规程》等要求,电压等级在 220 kV 及以下的变压器运行中油溶解气体组分含量超过下列任一值时应引起注意,总烃: 150 $\mu L/L$; 氢气: 150 $\mu L/L$; 乙炔: 5 $\mu L/L$ 。

从油化验报告可以看出,油色谱当中特征气体和总烃含量严重超标。5 种特征气体氢气、甲烷、乙烷、乙烯、乙炔均超标,且乙炔气体的含量高达 3 998.94 $\mu L/L$ 。

据科学研究证明,绝缘油在正常温度下是不存在氢气、甲烷、乙烷、乙烯、乙炔气体的,可能由于存放环境的不同,存在一定的微水。但是绝缘油在一定的运行环境下,达到 5 种特征气体产生的条件后,绝缘油就会分解产生相应的特征气体。其中甲烷的产气条件在 150 ℃ 左右;而乙烷和乙烯的产气条件在 150 ℃ ~ 500 ℃ 左右;由于从甲烷、乙烷到乙烯、再到乙炔的过程是加成反应的过程,乙烯含量逐渐积累,在较高的温度下生成乙炔^[7]。

结合变压器的运行特点,从绝缘油的分解产生特征气体的角度分析有热性故障(以中、高过热为主)和电性故障 2 种,而变压器内部过热条件下主要产生甲烷、乙烷和乙烯气体。电性故障情况下,变压器内部温度会达到 800 ℃ ~ 1 200 ℃ 左右,在此温度下,主要产生乙炔;局部放电情况下,变压器内部温度相对较低,主要生成的是氢气、甲烷。

所以通过油色谱数据分析可知所用变压器内部存在严重的电弧放电或火花放电。

下面利用三比值法进行分析判断。所谓三比值法就是根据变压器内部绝缘油在故障情况下裂解产生的气体组分含量与温度之间的相互关系,对 5 种特征气体按照编码规则(如表 6 所示)进行编码组合,根据故障类型判断方法(如表 7 所示)^[8]对故障进行分析

诊断。

表 6 编码规则

气体范围	比值范围的编码		
	C_2H_2/C_2H_4	CH_4/H_2	C_2H_4/C_2H_6
< 0.1	0	1	0
$[0.1,1)$	1	0	0
$[1,3)$	1	2	1
≥ 3	2	2	2

三比值法分析： $C_2H_2/C_2H_4=0.94$

$CH_4/H_2=0.6458$

$C_2H_4/C_2H_6=7.734$

(10)

按照编码规则对应的编码组合:1、0、2。按照编码组合对照故障类型判断方法及结合油色谱特征气体氢气、乙炔气体含量超标严重分析,变压器内部存在低能放电兼电弧放电现象。

表 7 故障类型判断方法

编码组合			故障类型判断	故障事例
C_2H_2/C_2H_4	CH_4/H_2	C_2H_4/C_2H_6		
0	0	1	低温过热(150℃)	绝缘导线过热,注意 CO 和 CO ₂ 的含量及 CO ₂ /CO 的值
	2	0	低温过热(150~300℃)	分解开关接触良好,引线夹件螺丝松动或接头焊接不良,涡流引起铜过热,铁芯漏磁,局部短路,层间绝缘不良、铁芯多点接地等
	2	1	中温过热(300~700℃)	
	0,1,2	2	高温过热(高于 700℃)	
	1	0	局部放电	高温、含气量引起油中低能量密集的局部放电
2	0,1	0,1,2	低能放电	引起对电位未固定的部件之间连续火花放电,分解抽头引线和油间隙闪络,不同电位之间的油中火花放电或悬浮电位之间的电火花放电
	2	0,1,2	低能放电兼过热	
1	0,1	0,1,2	电弧放电	线圈匝间、层间短路、相间闪络、分接头引线间油隙闪络、引起对箱壳放电、线圈熔断、分接开关飞弧、因环路电流引起电弧、引线对其他接地体放电等
	2	0,1,2	电弧放电兼过热	

2.2 变压器返厂吊芯检查分析

将故障变压器返厂后进行吊芯检查,检查发现变压器器身变形,内部污染严重,高压侧 A 相、C 相无明显变形,B 相移位变形较为严重,变压器油碳化较严重,吊芯检查,如图 3 所示。



图 3 变压器吊芯检查图

检查分析由于变压器在运行过程中谐波过电压或者该产品的线圈导线在绝缘加工过程中存在缺陷造成高压绕组匝间绝缘损伤形成匝间短路,由于变压器高压绕组匝数多、线径细,匝间绝缘击穿导致匝间短路。

3 结束语

变电所所用变压器为变电所交直流系统提供 1 路交流电源,在变电所的正常运行中起着重要作用。通过对此台 35 kV 油浸式变压器应用理论试验数据与返

厂解体吊芯检查相结合的方式进行分析,进一步确认了理论试验数据分析的故障现象与实际故障的一致性,也为供电运营检修积累以下几点经验。

(1)对于油浸式变压器及充油电气设备,变压器油起着绝缘、冷却的作用,所以通过监测变压器油的气体组分含量可以直观判断变压器内部的绝缘是否合格。

(2)对于高铁变电所 35kV 所用变压器,在日常的巡视中如若发现异响、变压器进线端熔断器频繁熔断时,要及时对变压器油进行化验分析,同时结合变压器运行环境定期提取油样进行化验分析。

(3)针对高寒、高海拔地区的高速铁路,设备运行环境较差,对电气设备的绝缘要求较高,所以变压器生产厂家要充分考虑变压器的运行环境,在生产、制造、零部件选择方面要严格把关、提高生产工艺,不断优化设备质量。

参考文献:

[1] 陈天翔,王寅仲,海世杰. 电气试验[M]. 北京:中国电力出版社, 2006.

CHEN Tianxiang, WANG Yinzong, HAI Shijie. Electrical Test [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2006.

[2] DL/T 596-1996 电力设备预防性试验规范[S].

DL/T 596-1996 Preventive Test Code for Electric Power Equipment [S].

(下转第 29 页)

(5)由结构位移、边墙收敛、主应力及结构内力综合分析可知,跨断层隧道采用全环间隔注浆抗震措施的作用效果优于全环接触注浆。

参考文献:

[1] 朱正国,余剑涛,隋传毅,等.高烈度活断层地区隧道结构抗震的综合措施[J].中国铁道科学,2014,35(6):55-62.
ZHU Zhengguo, YU Jiantao, SUI Chuanyi, et al. Comprehensive Seismic Measures for Tunnel Structure in the Area of High Intensity Active Fault [J]. China Railway Science, 2014, 35 (6) : 55 - 62.

[2] 何川,李林,张景,等.隧道穿越断层破碎带震害机理研究[J].岩土工程学报,2014,36(3):427-434.
HE Chuan, LI Lin, ZHANG Jing, et al. Seismic Damage Mechanism of Tunnels through Fault Zones [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2014, 36(3) : 427 - 434.

[3] 孟令瀚,安栋,荆鸿飞.强震区跨断层隧道纤维混凝土衬砌抗震性能研究[J].高速铁路技术,2018,9(4):14-19.
MENG Linghan, AN Dong, JING Hongfei. Study on Seismic Performance of Fiber Reinforced Concrete Lining of Fault-crossing Tunnels in Meizoseismal Area[J]. High Speed Railway Technology, 2018, 9(4) : 14 - 19.

[4] 李立新,邹金锋.破碎岩体隧道注浆参数确定方法[J].中南大学学报(自然科学版),2013,44(8):3432-3440.
LI Lixin, ZOU Jinfeng. Design Method of Grouting Parameters for Broken Rock Tunnel [J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2013, 44(8) : 3432 - 3440.

[5] 高峰,谭绪凯.隧道围岩注浆加固效应模拟方法研究[J].铁道工程学报,2014,31(11):82-86.
GAO Feng, TAN Xunkai. Research on the Numerical Simulation Method of Grouting in Tunnel [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2014, 31(11) : 82 - 86.

[6] 朱红,杜嘉鸿.隧道围岩注浆的理论分析及工程应用[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版),2012,28(3):497-500.
ZHU Hong, DU Jiahong. Theory Analysis and Engineering Application of Tunnel Surrounding Rock Grouting [J]. Journal of Shenyang Jianzhu University (Natural Science) , 2012, 28 (3) : 497 - 500.

[7] 吴旭阳,梁庆国.宋家山隧道洞口段注浆加固围岩的抗震分析[J].铁道建筑,2015(2):73-75.
WU Xuyang, LIANG Qingguo. Seismic Analysis on Surrounding Rock Reinforced by Grouting in Portal Section of Songjiashan Tunnel[J]. Railway Engineering, 2015(2) : 73 - 75.

[8] 申玉生,高波,胡邦,等.强震区山岭隧道围岩全环间隔注浆加固的方案研究[J].土木工程学报,2011,44(S1):186-191.
SHEN Yusheng, GAO Bo, HU Bang, et al. Study on the Interval Grouting Pre-reinforcement Scheme of Mountain Tunnel Surrounding Rock in High-intensity Earthquake Zone [J]. China Civil Engineering Journal, 2011, 44(S1) : 186 - 191.

[9] 高峰,胡蓉,谭绪凯.隧道注浆加固模型试验研究[J].重庆大学学报(自然科学版),2014,33(4):44-46.
GAO Feng, HU Rong, TAN Xukai. Model Test of Tunnel Grouting Reinforcement [J]. Journal of Chongqing University (Natural Science), 2014, 33(4) : 44 - 46.

[10] 王安华,贺斗,郭廷喜,等.注浆加固围岩对公路隧道的减震作用研究[J].陕西师范大学学报(自然科学版),2009,37(S1):17-21.
WANG Anhua, HE Dou, GUO Tingxi, et al. Study on Shock Absorption of Grouting Reinforcement Surrounding Rock on Highway Tunnel [J]. Journal of Shaanxi Normal University (Natural Science Edition), 2009, 37(S1) : 17 - 21.

(编辑:车晓娟 苏玲梅)

(上接第 9 页)

[3] 李建明,朱康.高压电气设备试验方法[M].北京:中国电力出版社,2013.
LI Jianming, ZHU Kang. Test Method For High-voltage Electrical Equipment[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2013.

[4] 周鹤良.电气工程师手册[M].北京:中国电力出版社,2008.
ZHOU Heliang. Handbook for Electrical Engineers [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2008.

[5] 杨成刚.一起 35kV 变压器故障分析处理[J].科技创业家,2013,4(10):85.
YANG Chenggang. Analysis of A 35kV Transformer Fault [J]. Technological Pioneers, 2013, 4(10) : 85.

[6] 徐艳聪.35kV/6kV 变压器常见故障分析及处理对策[J].机电信

息,2014,14(36):84-85.
XU Yancong. Analysis and Treatment of Common Failure of 35kV/6kV Transformer [J]. Mechanical and Electronical Information, 2014, 14(36) : 84 - 85.

[7] 牟雪梅,马静洁.变压器油色谱分析及故障判断[J].科技创新与应用,2016,6(31):186.
MU Xuemei, MA Jingjie. Oil Chromatography Analysis and Fault Diagnosis of Transformer[J]. Technology Innovation and Application, 2016, 6(31) : 186.

[8] GB/T 7252-2001 变压器油中溶解气体分析和判断导则[S].
GB/T 7252-2001 Guide to the Anagnosis and the Daignosis of Gases Dissolved in Transformer Oil[S].

(编辑:车晓娟 张红英)