



气相色谱技术与铁路 电力机车变压器故障分析

崔家保 主编

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

013031272

U264.3
02

气相色谱技术与铁路电力机车 变压器故障分析

崔家保 主编



中国铁道出版社
2012年·北京

U264.3
02



北航

C1636748

内 容 简 介

本书的主要内容有铁路电力机车变压器及变压器油的基本知识、变压器油气相色谱检测技术、变压器油中溶解气体的产生机理、变压器故障分类、变压器故障诊断、气相色谱仪常见故障处理及色谱分析中出现问题的解决方法、气相色谱仪分析操作注意事项等方面的知识。

本书可作为铁路机务、供电专业技术人员和化验分析人员学习作业技能的指导用书。

图书在版编目(CIP)数据

气相色谱技术与铁路电力机车变压器故障分析/崔家保主编. —北京: 中国铁道出版社, 2012. 12

ISBN 978-7-113-15891-0

I. ①气… II. ①崔… III. ①变压器油—气相色谱—检测 ②电力机车—变压器—故障诊断 IV. ①U264.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 306034 号

书 名: 气相色谱技术与铁路电力机车变压器故障分析
作 者: 崔家保 主编

责任编辑: 王明容 编辑部电话: (010)51873421 电子信箱: tdpress@126.com

编辑助理: 侯跃文

封面设计: 崔丽芳

责任校对: 张玉华

责任印制: 陆 宁

出版发行: 中国铁道出版社 (100054, 北京市西城区右安门西街 8 号)

网 址: <http://www.tdpress.com>

印 刷: 北京铭成印刷有限公司

版 次: 2012 年 12 月第 1 版 2012 年 12 月第 1 次印刷

开 本: 787 mm×1092 mm 1/32 印张: 6.125 字数: 136 千

书 号: ISBN 978-7-113-15891-0

定 价: 31.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书, 如有印制质量问题, 请与本社读者服务部联系调换。

电话: (010) 51873170 (发行部)

打击盗版举报电话: 市电 (010) 63549504, 路电 (021) 73187

编委会名单

策 划：孙家骏 李小璞

主 编：崔家保

参编人员：张开辉 陈 彪 朱元高

陈文岩 张红燕 王学敏

主 审：魏秀芳 朱 军

参审人员：姚建强 李亚龙

前 言

铁路电力机车变压器是电力机车的核心设备,用来把接触网上的 25 kV 高压电转换成电力机车所需的具有多种电压的低电压,以满足电力机车各种电机、电器的工作需要。变压器一旦发生问题,轻则使机车失去动力,严重的将会发生着火、爆炸事故,对铁路运输生产产生重大影响,危及人民生命和国家财产安全。因此,了解电力机车变压器内部运行情况并对发现的故障隐患及时进行处理,对保证机车安全、可靠、高效运行有十分重要的意义。由于电力机车变压器属于液体油绝缘变压器,其高压绕组、牵引绕组、辅助绕组和铁芯等全部浸没在变压器油中,无法通过肉眼或直接测量来判断变压器的故障隐患,而在变压器故障检测中,仅依靠电气试验方法往往很难发现某些局部故障和发热缺陷,必须采用一定的技术方法来间接地了解变压器的运行状况。而变压器油气相色谱分析技术是一项定期的预防性试验,通过对变压器油气相色谱分析这一检测方法,能够在早期发现变压

器内部的潜伏性故障,有效地杜绝恶性事故的发生。通过大量的故障诊断的实践证明,对变压器内部的某些潜伏性故障及其发展程度的早期诊断是比较有效的。通过对变压器油性能大量的分析,结合电力机车变压器的构造原理、变压器油的产气机理,利用变压器油气相色谱分析来判断电力机车变压器的故障隐患,我们成功地预报了多起机车故障,使电力机车变压器的故障得到及时处理,保证了电力机车变压器的运行安全,得到了领导和同行的认可。

本书的主要内容有铁路电力机车变压器及变压器油的基本知识、变压器油气相色谱检测技术、变压器油中溶解气体的产生机理、变压器故障分类、变压器故障诊断、气相色谱仪常见故障处理及气相色谱分析中出现问题的解决方法、气相色谱仪分析操作注意事项等方面的知识。本书可作为铁路机务、供电专业技术人员和化验分析人员学习作业技能的指导用书。本书为从事色谱分析技术管理和作业人员尽可能地提供了分析方法、判断依据和操作指南,以期能进一步提高色谱分析的整体水平,保证铁路运输安全。

由于铁路电力机车变压器故障的早期判断和及时处理是一个时间及经验不断积累的过程,而各段电

力机车的运行环境及机车型号的不尽相同,变压器油中气体组分的产生情况也会略有差异,在编写此书时,不可避免地存在一定的局限性和片面性。请广大读者在运用实践中提出宝贵意见,共同为铁路电力机车的安全运行做出贡献。

在本书的编著过程中,得到了兰州铁路局机务处、职教处及嘉峪关机务段领导的大力支持,也得到了色谱网广大色谱网友的不吝指教;同时嘉峪关机务段教育科、嘉峪关整备车间给予了无私帮助,在此一并致以谢意。

崔家保

2012年9月

目 录

第一章 概 述	1
第一节 简 介	1
第二节 变压器及变压器油	1
第三节 变压器油的劣化	18
第四节 影响变压器绝缘性能的主要因素	25
第二章 气相色谱技术应用	28
第一节 气相色谱法检测技术	28
第二节 气相色谱法的原理及构成	29
第三章 变压器油中溶解气体	55
第一节 变压器油中溶解气体来源	55
第二节 变压器油中溶解气体产气机理	58
第三节 热分解气体在油中的溶解与释放	59
第四节 故障变压器产气机理	63
第五节 故障变压器产气特征	66
第四章 变压器故障	69
第一节 变压器故障的分类	69
第二节 电力机车变压器常见故障	70
第三节 变压器故障发生的部位	80

第五章 变压器故障诊断	82
第一节 变压器内部故障的特征气体判断	82
第二节 变压器油的气相色谱分析	88
第三节 热油循环措施及防止二次污染的简单办法	108
第四节 慎重处理电力机车变压器油中的 C_2H_2	110
第五节 闪点与电力机车变压器油气相色谱分析之间 的关系.....	114
第六节 电力机车变压器故障分析事例.....	116
第六章 气相色谱仪常见故障处理及分析中问题的 解决方法.....	133
第一节 气相色谱仪常见故障处理.....	133
第二节 分析中问题的解决方法.....	136
第七章 气相色谱仪分析操作注意事项.....	141
第一节 气相色谱仪配件使用及注意事项.....	141
第二节 SP-3430 气相色谱仪使用说明	144
参考文献.....	183

第一章 概 述

第一节 简 介

变压器是铁路电力机车的核心设备,用来把接触网上的 25 kV 高压电转换为电力机车所需的具有多种电压的低电压,以满足电力机车各种电机、电器的工作需要。变压器一旦发生故障,轻则使机车失去动力,严重的将会发生着火、爆炸事故,对铁路运输生产产生重大影响。因此,了解电力机车变压器内部运行情况并对发现的故障隐患及时进行处理,对保证机车安全、可靠、高效运行有十分重要的意义。由于电力机车变压器属于液体油绝缘变压器,其高压绕组、牵引绕组、辅助绕组和铁芯等全部浸没在变压器油中,无法通过肉眼或直接测量来判断变压器的故障隐患,必须采用一定的技术方法来间接地了解变压器的运行状况。本书通过对铁路电力机车变压器油进行气相色谱分析来判断电力机车变压器的故障隐患,使电力机车变压器的故障得到及时处理,以保证电力机车变压器的运行安全。

第二节 变压器及变压器油

1887 年美国科学家汤姆逊发明了液体绝缘的油浸式变压器,1892 年被美国通用电气公司等推广应用于电力变压器,这里所指的液体绝缘即是变压器油绝缘。电力机车变压器器身全部浸没在充满变压器油的油箱中,变压器油和绝缘纸结合使用,不但使变压器的成本降低,还具有极高的击穿电压。另外,由于变压器油的良好传热性能,使变压器内部具有良好的热循环回路,配合强迫循环方式,达到了较好的冷却散热的目的;同时,因变压

器油隔离了设备固体绝缘材料与空气的接触,防止了绝缘材料受潮,减缓了设备的老化,延长了变压器的使用寿命。

一、油浸式变压器的特点

1. 大大提高了电气绝缘强度,缩短了绝缘距离,减小了设备的体积。

2. 大大提高了变压器的有效热传递和散热效果,提高了导线中允许的电流密度,减轻了设备重量,它是将运行变压器器身的热量通过变压器油的热循环,传递到变压器外壳和散热器进行散热,从而有效地提高了冷却降温效果。

3. 由于油浸密封而降低了变压器内部某些零部件和组件的氧化程度,延长了使用寿命。

二、电力机车变压器的结构

国产韶山型(以下简称,SS 系列)及 HXD 系列电力机车变压器是一种经储油柜呼唤口(吸湿器)与大气相通的开放式变压器,它的运行环境不同于一般电力变压器,它是在铁路线路上运行的而不是像一般电力变压器那样是静止的;而且为适应不同的牵引区段、牵引质量和牵引速度,电力机车变压器的输出功率是变化的,经常存在着过电流或过电压的冲击,变压器内部的温度变化也是非线性的,也就是说电力机车变压器的运行环境相对于电力变压器来说,要恶劣得多。电力机车变压器主要由铁芯、线圈、油箱、油保护装置、冷却系统、套管及一定数量的变压器油组成。SS 系列电力机车主变压器外观示例图,如图 1-1 所示。

1. 铁芯。变压器的铁芯为芯式结构,采用性能优良的冷轧硅钢片按两片一叠交替进行的方式叠装后用环氧玻璃胶带绑扎,绑扎后用夹件夹紧,夹件和硅钢片间有夹件油道作绝缘

和冷却油流路径。

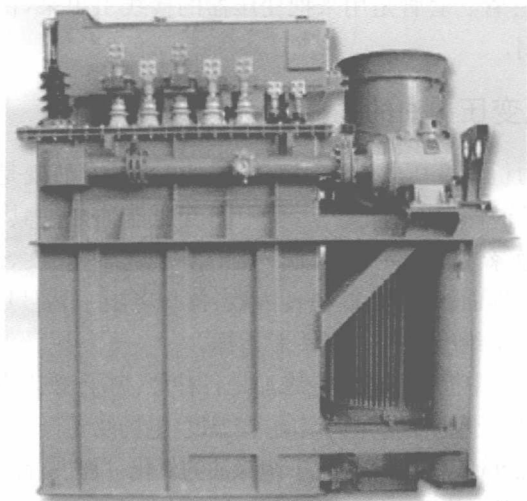


图 1-1 SS 系列电力机车主变压器外观示例图

2. 线圈。变压器有四种线圈：即高压线圈、调压线圈、基本线圈和辅助线圈。基本线圈与调压线圈又统称为牵引线圈。基本线圈贴靠铁芯柱布置，依次向外为高压线圈、调压线圈及辅助线圈。基本线圈无抽头，调压线圈有中间抽头。辅助线圈没有单独的绝缘筒，与调压线圈绕在一个绝缘筒上。每个变压器分别各有二组高压线圈、调压线圈、基本线圈和辅助线圈，分别布置在 A 柱和 X 柱上。

3. 油箱。变压器的器身浸没在充满变压器油的油箱中。

4. 油保护装置。由储油柜、油表、吸湿器、信号温度计、油流继电器、压力释放阀和净油器组成。

5. 冷却系统。变压器的冷却系统为强迫油循环风冷系统，主要由潜油泵、通风机、冷却器等组成。油路为热油从油箱上部出油口抽出，经油流继电器进入潜油泵的进油口，潜油泵泵出来的油进

入油冷却器,被吹风冷却后,进入油箱的下部,如此不断循环。

6. 套管。套管是用来把变压器的接线引出来,供机车内部接线用。

三、变压器油的性能

电力机车变压器内充满变压器油,变压器油既是绝缘介质,又是冷却介质。因此,运行中的变压器油必须具有稳定、优良的绝缘性能和导热性能。其中击穿电压、黏度、倾点、酸值、水分、界面张力、介质损耗因数、体积电阻率、闭口闪点、水溶性酸等是绝缘油的主要性能指标。

从石油中提炼制取的绝缘油是各种烃、树脂、酸和其他杂质的混合物,其性质不都是稳定的,在温度、电场及光合作用等影响下会不断地氧化。正常情况下绝缘油的氧化过程进行得很缓慢,如果维护得当使用 20 年还可保持应有的品质而不老化,但混入油中的金属、杂质、气体等会加速油的氧化,使油质变坏,颜色变深,透明度浑浊,所含水分、酸值、灰分增加等,使油的性能劣化。

(一)新变压器油应具备的性能

充入电力机车的变压器油的运行可靠性,取决于油的某些基本特性参数,而这些特性参数将影响电力机车变压器的整个运行工况,为了有效地完成其绝缘、传热以及消弧等多方面的作用,变压器油必须至少具有以下基本特性。

1. 氧化安定性

运行中变压器油老化因素很多,受外界影响,如温度、空气、电场、金属催化剂等作用,都会加速油品氧化;其内在因素与油品的组成有关。油由各种结构复杂的混合烃所组成,但其所占的比例不同,其性能也就有所不同。环烷烃的抗氧化性能差,容易氧化生成酸和其他产物,但对抗氧化剂感受性较好,弥补了不足之处,是变压器油的理想组分。烷烃的抗氧化

性能与环烷烃差不多,但是在强电场作用下容易发生脱氢反应,产生高分子聚合物,通常称为 X-蜡。芳香烃对变压器油的氧化安定性能起着重要作用,但其结构不同,对油品性能影响也各不相同,双环芳烃或多或少有抑制氧化能力,多环芳烃是很好的天然抗氧化剂,但氧化后容易产生沉淀,同时使油的颜色变浑浊。炼制变压器油时,如采用深度精制,然后加入抗氧化剂,可以避免油产生沉淀问题。变压器是连续长期运行设备,不能轻易停电检修,所以要求变压器油有优越的氧化安定性能。

2. 电气性能

变压器油作为电气设备绝缘介质,要具备良好的电气性能。

(1)绝缘击穿电压,是检验油耐受极限电应力情况的一项非常重要的指标;

(2)油品的介质损耗因数与体积电阻率可以影响电气设备的绝缘性能。介质损耗因数与体积电阻率对油中存在的可溶性极性杂质、老化产物以及带电胶体等的反应非常敏感。在较高温度下,介质损耗因数与体积电阻率通常具有较好的相关性,介质损耗因数增大,体积电阻率降低。油品的这些性能与基础油组成及加工工艺都有关系。

3. 黏温性能

变压器油除了起绝缘作用外,还起着散热的作用。因此,一方面要求变压器油的黏度随温度的变化越小越好,即黏温特性好。另一方面要求变压器油在寒冷地区较低温度下变压器油的黏度变化小,低温仍然具有循环对流和传热能力,才能使设备正常运行,避免设备出现过热等问题。

2012年6月1日起执行的GB 2536—2011《电工液体变压器油和开关用的未使用过的矿物绝缘油》中的《变压器油(通用)技术要求和试验方法》(表1-1),要求对新油进行倾点、

表 1-1 变压器油(通用)技术要求和试验方法 (GB 2536—2011)

项 目		质量指标					试验方法	
最低冷态投运温度(LCSET)		0℃	-10℃	-20℃	-30℃	-40℃		
功能特性 ^a	倾点(℃)	不高于					GB/T 3535	
	运动黏度(mm ² /s)	不大于					GB/T 265	
	40℃	12	12	12	12	12		
	0℃	1800	—	—	—	—		
	-10℃	—	1800	—	—	—		
	-20℃	—	—	1800	—	—		
	-30℃	—	—	—	1800	—		
	-40℃	—	—	—	—	2500 ^b		
	水含量 ^c (mg/kg)	不大于	30/40					GB/T 7600
	击穿电压(满足下列条件之一)(kV)	不小于	30					
未处理油	70							
经处理油 ^d								
密度 ^e (20℃)(kg/m ³)	不大于	895					GB/T 1884 和 GB/T 1885	
介质损耗因数 ^f (90℃)	不大于	0.005					GB/T 5654	

功能
特性^a

续上表

项 目		质量指标				试验方法
最低冷态投运温度(LCSET)		0℃	-10℃	-20℃	-30℃	
精制/ 稳定 特性 ^g	外观	清澈透明、无沉淀物和悬浮物				目测 ^h
	酸值(以 KOH 计)(mg/g)	不大于				NB/SH/T 0836
	水溶性酸或碱	无				GB/T 259
	界面张力(mN/m)	不小于				GB/T 6541
	总硫含量 ⁱ (质量分数)(%)	无通用要求				SH/T 0689
	腐蚀性硫 ^j	非腐蚀性				SH/T 0804
	抗氧化添加剂含量 ^k (质量分数)(%) 不含抗氧化添加剂(U) 含抗氧化添加剂(I) 含微抗氧化添加剂(T)	检测不出 0.08~0.40 0.08				SH/T 0802
	2-糠醛含量(mg/kg)	不大于				NB/SH/T 0812
运行 特性 ^l	氧化安定性(120℃)					
	试验时间: (U)不含抗氧化添加 剂油:164 h	总值(以 KOH 计) (mg/g)不大于		1.2		NB/SH/T 0811
	(T)含微量抗氧化添 加剂油:332 h	油泥(质量分数)(%) 不大于		0.8		

续上表

项 目		质量指标				试验方法
最低冷态投运温度(LCSET)		0℃	-10℃	-20℃	-30℃	
运行特性 ¹⁾	(1) 含抗氧化添加剂油: 500 h 介质损耗因数 ²⁾ (90℃) 不大于 析气性(mm ³ /min)	0.500				GB/T 5654
健康、安全 and 环保特性(HSE) ³⁾	闭口(闪点)(℃) 不低于 稠环芳烃(PCAs)含量(质量分数)(%) 不大于 多氯联苯(PCBs)含量(质量分数)(%)	无通用要求				NB/SH/T 0810
		135				GB/T 261
		3				NB/SH/T 0838
		检测不出 ^{a)}				SH/T 0803

注 1: “无通用要求”指由供需双方协商确定该项目是否检测,且测定限值由供需双方协商确定。

注 2: 凡技术要求中的“无通用要求”和“由供需双方协商确定是否采用该方法进行检测”的项目为非强制性的

^{a)} 对绝缘和冷却有影响的性能。

^{b)} 运动黏度(-40℃)以第一黏度值为测定结果。

^{c)} 当环境湿度不大于 50%时,水含量不大于 30 mg/kg 适用于散装交货;水含量不大于 40 mg/kg 适用于桶装或复合中型集装箱(IBC)交货。当环境湿度大于 50%时,水含量不大于 35 mg/kg 适用于散装交货;水含量不大于 45 mg/kg 适用于桶装或复合中型集装箱(IBC)交货。

^{d)} 经处理油指试验样品在 60℃下通过真空(压力低于 2.5 kPa)过滤过一个孔隙度为 4 的烧结玻璃过滤器的油。

^{e)} 测定方法也包括用 SH/T 0604。结果有争议时,以 GB/T 1884 和 GB/T 1885 为仲裁方法。

^{f)} 测定方法也包括用 GB/T 21216。结果有争议时,以 GB/T 5654 为仲裁方法。

^{g)} 受精制深度和类型及添加剂影响的性能。