

Failure Analysis of Transformer in Ladle Refining Furnace

Jingquan Zhang

Taiyuan Iron & Steel (Group) Electrical Equipment Co., LTD., Taiyuan Shanxi
Email: zhangjq1970@163.com

Received: May 23rd, 2019; accepted: June 7th, 2019; published: June 14th, 2019

Abstract

Based on several failures of ladle refining furnaces in the company, this paper analyzes the causes of transformer coil loosening and instability, and puts forward some improvement measures for transformer overhaul and maintenance, hoping to enlighten and help peers.

Keywords

Ladle Refining Furnace Transformer, Loose Instability

钢包精炼炉变压器失稳故障分析研究

张井泉

太原钢铁(集团)电气有限公司, 山西 太原
Email: zhangjq1970@163.com

收稿日期: 2019年5月23日; 录用日期: 2019年6月7日; 发布日期: 2019年6月14日

摘要

本文主要结合两起钢包精炼炉故障, 对引起变压器线圈松动失稳的原因进行了分析, 对变压器大修和维护提出了一些改进措施, 希望能对同行有所启迪和帮助。

关键词

钢包精炼炉变压器, 松动失稳



1. 引言

近年来,随着系统容量和变压器单台容量不断增大,在变压器阻抗一定的前提下,短路电磁力对变压器的威胁更加严重。因此为了确保变压器安全可靠运行,就必须设法提高变压器的抗短路冲击的能力。大量的运行实践证明,不论是国产变压器还是国外进口的变压器产品,均出现过因变压器绕组抗短路力不够而损坏的事故。可见如何提高变压器的抗短路能力,目前仍是变压器制造企业和用户都极为关心的技术课题。对于短路力、短路应力、动态力的计算,目前国际上还没有统一公认的技术标准。关于变压器短路失稳的课题,不少国家根据各自的试验研究结果,提出了适合各自产品结构和制造工艺水平的计算方法。其中日本变压器专业委员会根据弹性理论推荐的薄壁圆筒的辐向稳定性计算方法。我国多数企业目前仍沿用前苏联推荐的具有弹性支撑的多跨模型,来研究短路力作用的绕组的静态和动态稳定性,及根据试验结果给出的经验计算公式。本文结合了几起电炉变压器的短路故障案例,及其引起的松动失稳原因,进行了分析探讨。

2. 故障概况

某炼钢厂 30,000 KVA 钢包精炼炉变压器陆续发生两起重瓦斯动作,变压器跳闸事故,严重影响了公司的正常生产。经检查试验,变压器油色谱、直流电阻、变比均已严重超标。其中变压器色谱分析结果如表 1。

Table 1. LF furnace transformer oil test analysis report (Unit: ppm)**表 1.** LF 炉变压器油化验分析报告(单位: ppm)

设备名称	氢气 H ₂	一氧化碳 CO	二氧化碳 CO ₂	甲烷 CH ₄	乙烷 C ₂ H ₆	乙烯 C ₂ H ₄	乙炔 C ₂ H ₂	总烃
1#LF 炉	949.17	420.46	1702.12	341.10	54.24	909.95	2123.70	3428.99
2#LF 炉	1457.96	646.79	2509.25	511.27	63.72	1244.32	1280.26	3099.57
注意值	150	—	—	60	4	70	10	150

化验结果分析:上述两台变压器油均不合格,主要表现为高能放电[1][2]。

该配套变压器均为国内知名生产厂,变压器投入运行 3~5 年。同时变压器作为重点设备一直定期维护检查,均未发现异常。为查明变压器损坏原因,对变压器进行了抽芯解体检查。

3. 故障主要现象

上述 LF 炉变压器均采用主串变调压方式,该变压器和普通的单器身变压器相比主要有以下优点:可实现等级差调压,调压范围大,在调压的过程中与阻抗变化小、变压器分接开关切换容量低,该变压器在容量较大且调压频繁的电炉及铁合金领域应用比较广泛,但结构比普通单器身变压器要复杂的多。其调压原理见图 1 [3]。

从抽芯解体情况看,故障主要发生在主变高压线圈和串变激磁线圈部分。主要表现为饼间绝缘垫块松动移位严重,线圈变形,匝间绝缘破损形成匝间短路(图 2~图 3)。

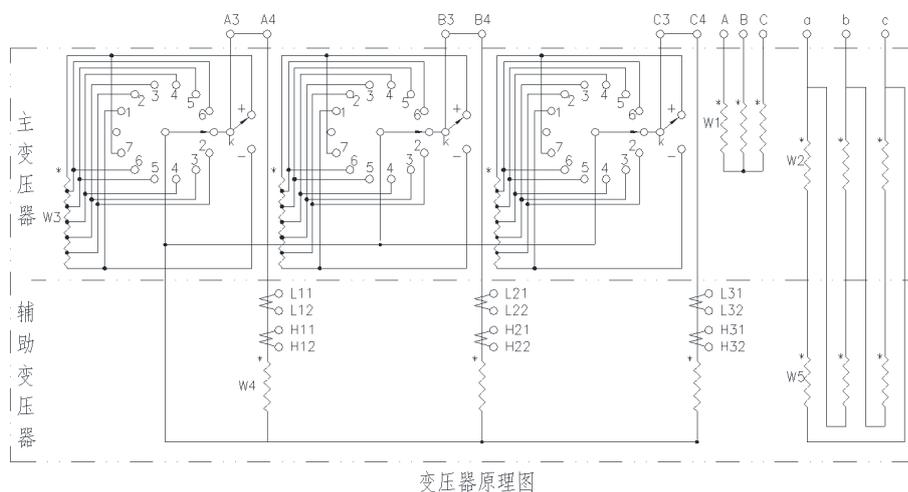


Figure 1. Transformer schematic
图 1. 变压器原理图



Figure 2. String excitation destabilizing coil
图 2. 串变激磁失稳线圈



Figure 3. Main transformer high voltage fault instability coil
图 3. 主变高压故障失稳线圈

4. 绕组故障主要原因分析

对上述变压器的损坏情况进行分析对比后,可以认定产生故障的直接原因是由于变压器轴向松动失稳造成的。该类型故障在具有冲击性负载的变压器中比较常见。由于其故障的潜伏性较强,特别是内线圈的松动失稳问题难以提前发现,严重影响了设备的安全稳定运行。因此对变压器失稳问题的深入研究,在变压器制造和运行维护中如何采取针对性措施,避免类似事故重复发生显得尤为必要。现简要分析如下:

1) 产品设计和制造工艺方面的原因

包括安匝平衡及短路力验算、线圈结构的选取、绝缘材料的选用和预处理、线圈绕制工艺的好坏、线圈压紧装置的强度、线圈烘干装配预紧力的控制等。上述因素如控制的不好,将导致变压器产品在运行过程中预紧力不够或预紧力下将直至失效。

2) 绝缘垫块的残余(永久)变形是导致轴向失稳的又一原因

绝缘垫块是由纤维纸板制成的,它是一种可压缩的材料。在压力的作用下,会产生变形。而当压力去除以后,便会留下残余(永久)变形,即垫块产生收缩,残余(永久)变形的出现意味着垫块将丧失部分厚度尺寸,从而导致轴向预紧力的降低。因此,在轴向动态短路力的持续作用下,绕组的轴向预紧力会明显降低。据一些资料介绍,在最不利的情况下,采用普通绝缘纸板垫块的绕组,其轴向预紧力可降低 70% 左右。而采用预压绝缘纸板垫块的绕组,其轴向预紧力也可降低 40% 左右。当轴向预紧力减小到一定程度,绕组的轴向固有频率和动态短路力的频率相近时,将会产生谐振。这时轴向动态短路力的幅值将会骤增。在短路振动的过程中,垫块之间的空隙多次出现与消失,使得垫块与导线的匝绝缘产生剧烈得机械撞击,最终导致匝绝缘破损,形成匝间短路故障。另由于垫块之间空隙得存在,使得一些垫块处于自由状态,不再承受轴向压力,在短路力得冲击振动下,垫块极容易松动移位,导致轴向失稳[4]。

3) 使用和运行维护不当,也是变压器损坏的又一原因

电炉变压器由于生产工艺的原因,属于冲击性负荷。新变压器投运一段时间后,在热和机械应力得持续作用下,变压器内应力得以释放,特别是绝缘垫块会产生残余变形,变压器不可避免会产生一定的松动。当变压器线圈的预应力小到一定值时,变压器就会产生松动失稳故障。而上述问题是不能够通过油色谱分析和常规电气检测发现的。根据变压器绕组的松动变形(轴向和辐向尺寸的变化、器身位移、绕组扭曲、鼓包等)会引起变压器阻抗和分布电感的变化。根据这一现象,目前有两种测试方法被普遍采用,分别为短路阻抗法和频率响应法。但上述方法均得离线进行,且不直观,需进一步分析研判[5] [6]。

5. 措施

基于上述分析,我们在故障变压器修复过程中主要采取了以下措施:

1) 变压器运行一段时间以后,各部残余已趋于稳定。因此对未损坏的线圈重新进行了压力调整,发现线圈加到设计压力后(一般垫块压力取 2.5~3.0 MPa),线圈均较设计高度低 10 mm 以上,再次带压干燥,基本不再收缩,只需调整到设计高度即可,同时也验证了前面推定。

2) 对烧损的线圈在不改变原主要结构和尺寸的前提下,主要采取了以下措施;加强了内绕组与铁芯之间的支撑,选用了硬纸筒支撑结构(原为软纸筒,并增加了撑条跨数;双耳垫块内外撑条(原为单耳),垫块选用了 T_M特硬预压纸板;选用了半硬导线,并提高绕制张力;对所有绕组出头均采用收缩带进行绑扎紧固;采用了带压干燥工艺;线圈进行了浸漆处理(现在大多数企业已取消了浸漆工艺,但在电炉变压器产品上,线圈采用浸漆工艺,对提升整体机械强度还是有必要的);加装了弹性压紧装置等一系列措施。

3) 在装配过程中,各部件要按要求放置平整,上下对齐,严格对每只线圈进行了预紧力控制,要用

油压千斤对绕组加压，对可能松动的部件紧固和防松处理。

4) 鉴于变压器松动失稳故障，很难通过在线检测发现隐患。因此对新投入的电炉或具有冲击性负荷的变压器建议 2~3 年内离线抽芯检查。对变压器绕组进行预紧力调整，全面加固整理。对保证变压器长周期稳定可靠运行是很有必要的。

6. 结束语

关于电炉变压器失稳的问题，除了在产品的设计计算方面应重点考虑以外，产品制造工艺好坏也影响很大。在这方面，国外一些企业(如 ABB 和东芝)，有许多好的做法值得借鉴学习。同时对用户使用和维修也提出了较高要求，如何及早判断、消除隐患，需要在实践中认真总结。本文一些观点难免片面，仍希望能对同行有所启迪和帮助。

参考文献

- [1] DL/T722-2014, 变压器油中溶解气体分析和判断导则[S].
- [2] 操敦奎. 变压器油中气体分析诊断与故障检查[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [3] 崔立君. 特种变压器理论与设计[M]. 北京: 科学技术出版社, 1996.
- [4] 谢敏城. 电力变压器设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [5] 孙翔, 何文林, 詹江杨, 等. 电力变压器绕组变形检测与诊断技术的现状与发展[J]. 高电压技术, 2016(4): 1207-1220.
- [6] DL/T911-2004, 电力变压器绕组的频率变形响应分析法[S].

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2333-5394, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>
期刊邮箱: jee@hanspub.org