

Analysis for Operating Condition of Fully-enclosed Box-type Transformer

Yuanxiang Tang

Jiangsu Longyuan New Energy Co., Ltd., Nantong, Jiangsu, 226014, China

Abstract

At present, the export voltage of the wind turbines used in most wind farms is relatively low, which cannot meet the requirements of long-distance transmission, so it is necessary to add a step-up transformer to each wind turbine. Therefore, every wind driven generators should be equipped with one additional boosting transformer. This paper introduces the operation of a fully enclosed box type transformer selected for a wind farm, analyzes the problems exposed during the operation of this type of box type transformer, introduces the treatment process, proposes effective measures to solve them, and provides suggestions for manufacturing and other aspects, as well as considerations for selection. The results indicate that this type of transformer has special requirements in design, manufacturing, operation, maintenance, and other aspects.

Keywords

wind power generation; box-type transformer; chromatography; vacuum oil filtration

全封闭箱式变压器的运行情况分析

唐元祥

江苏龙源新能源有限公司, 中国 · 江苏 南通 226014

摘要

目前大部分风电场所选用的风力发电机的出口电压都比较低,尚不能满足远距离输电的要求,为此必须对每台风机加配一台升压变压器。因此,箱式变压器的运行情况直接影响风力发电机的运行。论文介绍了某风电场所选用的全封闭式箱式变压器的运行情况,并对该类型箱式变压器运行中暴露的问题进行分析,介绍了处理的过程,提出解决的有效措施和在制造等方面的建议以及选用方面的注意事项。结果表明,该类型变压器在设计、制造、运行、检修等方面都具有特殊的要求。

关键词

风力发电; 箱式变压器; 色谱; 真空滤油

1 引言

某风电场选用 28 台 GE1.5sle 风力发电机,其采用的双馈异步发电机的出口电压为 690V,共配备 28 台型号为 S11-M-1600/35 的箱式变压器(以下简称箱变),该型号变压器的额定容量为 1600kVA,高压侧额定电压为 35kV,低压侧额定电压为 690V,接线组别为 Δ/Y_0-11 型,其采用的是全封闭结构,无油枕,其油的膨胀和冷缩靠变压器的金属散热膨胀器和油位计进行调节,具体如图 1 所示。

2 运行及问题初步处理情况

该类型变压器自 2017 年 4 月陆续投运,因当时低压侧没有设计中性点,引起中性点电位漂移,造成部分风机无法

正常运行。2017 年 5 月份开始,将该批变压器陆续返厂增加中性点。投运后不到 1 年发现普遍存在瓦斯继电器有气体产生。2018 年 3 月 11 日对其中的 #14、#25、#26 箱变取油样进行色谱分析,数据如表 1 所示。

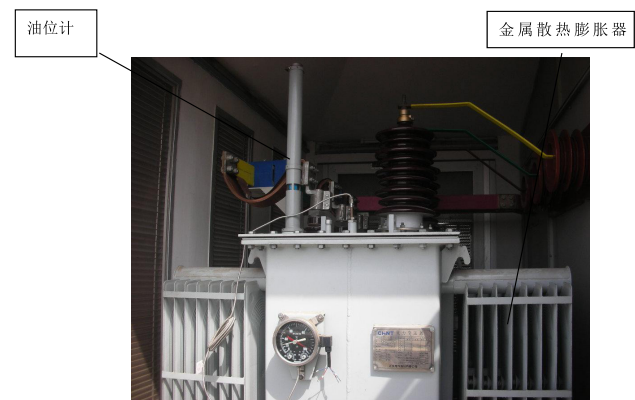


图 1

【作者简介】唐元祥(1966-),男,中国江苏滨海人,本科,工程师、注册安全工程师,从事新能源安全生产管理研究。

表 1 2018 年 3 月 11 日油质气相色谱分析报告
(表中数据单位为 $\mu\text{L/L}$, 下同)

设备名称 项目	#14 箱变	#25 箱变	#26 箱变
氢气 (H_2)	27809	21621	19553
甲烷 (CH_4)	2872.0	1135.2	2031.2
乙烯 (C_2H_4)	5.2	2.8	3.8
乙烷 (C_2H_6)	571.1	186.2	449.8
乙炔 (C_2H_2)	0.0	0.0	0.0
总烃	3448.3	1324.2	2484.7
一氧化碳 (CO)	533	564	299
二氧化碳 (CO_2)	2973	1959	1646
超注意值结论	氢气产气量 超出 150; 总烃产气量 超出 150	氢气产气量 超出 150; 总烃产气量 超出 150	氢气产气量 超出 150; 总烃产气量 超出 150

此情况引起了该风电场生产部人员的重视,他们立即将此情况以书面形式向箱变厂家技术人员作了汇报。厂家技术人员也非常重视,他们初步分析产气的原因可能是变压器油受潮引起,于是决定在箱变进油阀和出油阀之间加装“热油过滤器”,以排除油中的水分,同时要求加强检查,定期取油样进行色谱分析。2018年7月1日、7月2日分别对#14、#26箱变加装“热油过滤器”。2018年7月4日对#14、#26箱变第二次取油样进行色谱分析,分析数据如表2所示。

表 2 2018 年 7 月 4 日油质气相色谱分析报告

设备名称 项目	#14 箱变	#26 箱变
氢气 (H_2)	10644.44	10496.70
甲烷 (CH_4)	749.96	753.93
乙烯 (C_2H_4)	1.84	1.39
乙烷 (C_2H_6)	332.41	286.21
乙炔 (C_2H_2)	0.0	0.0
总烃	1084.21	1041.53
一氧化碳 (CO)	125.45	143.24
二氧化碳 (CO_2)	1210.74	1038.54
超注意值结论	氢气产气量超出 150; 总烃产气量超出 150	氢气产气量超出 150; 总烃产气量超出 150

化验结果表明:各项指标与第一次数据比较有明显下降但仍超出标准较多,说明加装“热油过滤器”能起到一定的作用,但不能解决根本问题。2018年7月下旬,天气比较炎热,运行人员检查时发现该批变压器在同样负荷情况下其油温较其他类型相同容量的变压器偏高 $10^\circ\text{C}\sim 20^\circ\text{C}$,最高一台箱变油温达 93°C ,同时发现较多箱变的油位计中显示油位下降明显,有的油位计根本无油但箱变本体并不渗油,且瓦斯继电器仍有大量气体产生。2018年7月23日对#2、#10、#14、#26箱变又取油样进行色谱分析,试验数据如表

3所示。

表 3 2018 年 7 月 23 日油质气相色谱分析报告

设备名称 项目	#2 箱变	#10 箱变	#14 箱变	#26 箱变
氢气 (H_2)	11015.28	10650.56	8862.46	10750.18
甲烷 (CH_4)	777.83	782.02	763.58	794.80
乙烯 (C_2H_4)	0.97	2.47	1.58	1.49
乙烷 (C_2H_6)	786.41	377.68	273.50	302.33
乙炔 (C_2H_2)	0.0	0.0	0.0	0.0
总烃	1565.21	1162.17	1038.66	1098.62
一氧化碳 (CO)	107.65	347.13	96.09	152.76
二氧化碳 (CO_2)	1262.24	2897.94	1060.29	1226.75
超注意值结论	氢气产气量 超出 150; 总烃产气量 超出 150	氢气产气量 超出 150; 总烃产气量 超出 150	氢气产气量 超出 150; 总烃产气量 超出 150	氢气产气量 超出 150; 总烃产气量 超出 150

针对变压器油温偏高的问题,厂家认为是箱变四周的通风窗偏少致使箱变散热条件较差引起,此后采取增加通风窗面积取得了一定的效果;针对箱变油位计无油的问题,厂家未说明原因,只是说明只要变压器本体不渗漏,无需进行放气和加油处理;对箱变氢气及总烃含量依然超标的问题,同年8月19日厂家给予的答复是先取4台箱变对其进行换油处理,运行1个月后取油样进行分析,如效果明显,则对其他箱变也进行换油处理。

2018年10月14日、16日分别对#2、#3、#4、#5箱变进行换油处理,换油结束后对其中的#2、#3箱变取油样进行分析,试验数据如表4所示。

表 4 2018 年 10 月 15 日油质气相色谱分析报告

设备名称 项目	#2 箱变	#3 箱变
氢气 (H_2)	0	22
甲烷 (CH_4)	4.9	2.4
乙烯 (C_2H_4)	0	0
乙烷 (C_2H_6)	1.1	0.4
乙炔 (C_2H_2)	0.0	0.0
总烃	6	2.8
一氧化碳 (CO)	0	0
二氧化碳 (CO_2)	20	6
结论	正常	正常

然而,在不到1个月后,对#2~#5箱变取油样分析,分析结果显示氢气含量仍然超标,但较换油前有大幅度下降,且总烃含量基本合格。试验结果如表5所示。

三个月后再次取油样分析,结果显示氢气及总烃含量基本趋于稳定,但仍有一定的上升,试验数据见表6。说明采取换油措施后,具有一定的效果,但依然没有彻底解决问题。

表 5 2018 年 11 月 5 日油质气相色谱分析报告

设备名称 项目	#2 箱变	#3 箱变	#4 箱变	#5 箱变
氢气 (H ₂)	3415.19	1407.13	2210.35	897.99
甲烷 (CH ₄)	160.1	46.9	90.05	34.87
乙烯 (C ₂ H ₄)	0.25	0.2	0.14	0.0
乙烷 (C ₂ H ₆)	35.02	9.04	13.16	7.47
乙炔 (C ₂ H ₂)	0.0	0.0	0.0	0.0
总烃	195.37	56.31	103.35	42.34
一氧化碳 (CO)	21	31.47	26.22	29.91
二氧化碳 (CO ₂)	261.62	265.34	342.42	432.93
超注意值结论	氢气产气量 超出 150; 总烃产气量 超出 150	氢气产气量 超出 150; 总烃产气量 未超出 150	氢气产气量 超出 150; 总烃产气量 未超出 150	氢气产气量 超出 150; 总烃产气量 未超出 150

表 6 2019 年 2 月 13 日油质气相色谱分析报告

设备名称 项目	#2 箱变	#3 箱变	#4 箱变	#5 箱变
氢气 (H ₂)	3230.83	1508.45	2374.12	947.76
甲烷 (CH ₄)	185.80	61.88	122.43	48.83
乙烯 (C ₂ H ₄)	25.93	6.92	12.8	6.08
乙烷 (C ₂ H ₆)	0.49	0.49	0.37	0.3
乙炔 (C ₂ H ₂)	0.0	0.55	0.0	0.0
总烃	212.22	69.84	135.60	55.21
一氧化碳 (CO)	54.17	65.34	62.74	63.75
二氧化碳 (CO ₂)	400.42	425.52	592.40	730.63
超注意值结论	氢气产气量 超出 150; 总烃产气量 超出 150	氢气产气量 超出 150; 总烃产气量 未超出 150	氢气产气量 超出 150; 总烃产气量 未超出 150	氢气产气量 超出 150; 总烃产气量 未超出 150

3 箱变产生气体的真正原因及最终解决措施

3.1 箱变产生气体的原因

为了寻求该批箱变产生气体的真正原因,2019年1月份开始,该公司安全生产部召开了多次会议,决定先弄清楚是否是变压器内部绝缘和铁芯等质量问题。在省电力科学研究院的支持下,他们做了变压器油的微水测试、变压器直流电阻、绝缘电阻以及油的击穿电压、闪点等试验,试验结果均合格。在此情况下决定对变压器进行调芯检查,随机抽取了#14箱变返厂吊芯检查,发现有如下现象:第一,变压器顶盖螺栓普遍松动;第二,变压器铁芯紧固螺栓松动;第三,变压器铁芯有锈蚀痕迹(如图2所示);第四,变压器低压侧软连接有黑色的碳化物(如图3所示)。



图 2

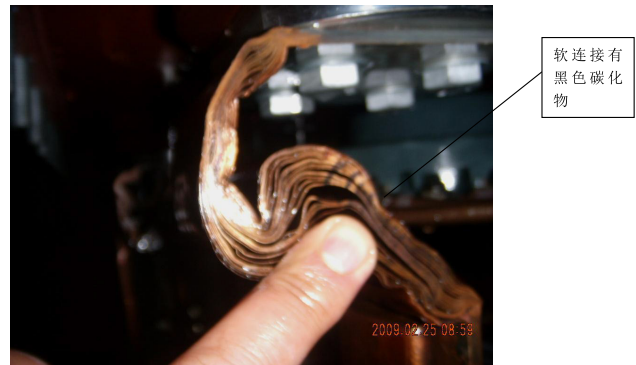
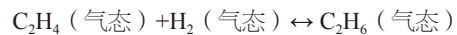
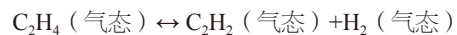
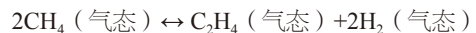
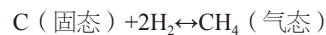
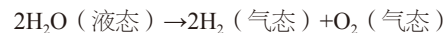


图 3

第一种和第二种现象表明该批箱变在制造和装配时,工艺明显达不到要求,其造成的后果是外部潮湿的空气在变压器呼吸时,可能被带入变压器内部导致绝缘受潮和变压器在运行时铁芯发出的电磁声增大,而变压器内部绝缘受潮是产生大量 H₂ 的直接原因;第三种现象也验证了变压器曾经受潮;第四种现象产生的可能原因是低压侧软连接在加工时因工艺达不到要求,导致软连接层间电位不相等,又因层与层之间距离很小造成层间运行时轻微放电。此外,从相关人员处了解到,当初该批箱变在返厂增加中性点时,因当时时间较紧,在各台箱变吊芯增加中性点后未经过干燥处理即将铁芯放入箱体中,且加入不同批次的油品。造成的直接后果是变压器出厂时就已经受潮,且油质可能产生劣化而发生断链现象。相关化学反应方程式如下:



综上所述,该风场箱变在运行中产生气体(H₂、CH₄、C₂H₄、C₂H₆、CO、CO₂)的原因为:①箱变在增加中性点时少一道干燥程序。②箱变顶盖螺栓未紧固好,使箱变在运行

中被吸入潮湿的空气。前两种因素叠加导致变压器油品或绝缘受潮。③受潮产生大量气体使箱体金属散热膨胀器进一步膨胀,使油位下降。④油质劣化。

3.2 最终解决的措施

针对上述原因分析,必须采取的措施如下:

第一,对该批箱变进行换油,换油时采取真空滤油,同时进行加热处理,加热时间每台不得少于6h,温度在60℃以上,以去除箱变内部潮气和气体。

第二,检查并紧固相关螺丝,确保变压器全密封,防止换油后仍有潮气进入。

第三,运行人员应加强检查,发现油位计无油时应采取加油措施,防止变压器缺油运行。

第四,如发现瓦斯继电器及套管等部位有气体时,应进行放气处理,在放气时应采用正压放气法,防止潮气在放气时被吸入。

第五,对该批箱变定期抽取油样做色谱和微水分析,并严格按照变压器试验规程规定做好相关试验。

4 全封闭变压器在设计、制造、安装、运行、检修时的特殊要求

由于全封闭变压器制造成本低,并具有运行时免维护的特点,因此在小容量变压器领域内得到广泛应用。但因其具有自身的特点,在设计、制造、安装、运行、检修时必须注意以下几点,否则将达不到理想的效果。

4.1 设计

①全封闭变压器不适宜用于大容量、高电压等级的变压器,一般宜选择1600kVA,35kV以下等级变压器。

②全封闭变压器最好设计有一定容量的油枕,如没有油枕,则应考虑选择较大容量的顶部油位计,对散热膨胀器宜选择膨胀系数较好的材料。

③必须设计压力释放阀,以便内部压力较大时气体能够顺利释放。

④变压器顶盖密封材料宜选择耐油抗老化的材料。

4.2 制造

①全封闭变压器必须严格按照各项工艺程序进行制造,严格把好质量关,特别要注意油质及油品的选择。

②变压器必须进行严格的干燥工艺处理,防止内部绝缘或油品受潮。

③注油时应采用真空滤油法,滤油时应对油进行加热处理。

4.3 安装

①全封闭变压器宜在厂家注好油后再运至现场安装。

②注油后应静置至少24h后再进行运输,且运输途中

避免激烈颠簸。

③安装时应注意一定的倾斜度,以便运行中有气体时能顺利到达瓦斯继电器和油位计。

④安装后应对各部位螺栓重新进行紧固,防止运输中松动。

4.4 运行

①全封闭变压器宜在干燥地区运行,在潮湿的南方和腐蚀性较大的海边一般不宜选择。

②运行时应加强对瓦斯继电器的检查,发现有气体产生时应及时进行放气,并注意采用正压放气法,对处于高处的套管也应进行放气处理。

③加强对油位计的监视,发现油位下降时,应进行补油处理,补油不能太多,只要油位计指示处于正常刻度范围即可,一般宜加到油位计中线以下。

④注意对变压器温度和声音的监测。

4.5 检修

①定期对变压器的油色谱和微水进行测定,发现不合格应尽早停运并进行原因分析。

②定期检查紧固件和密封材料。

③定期检查油位计压力释放阀,确保其完好,必要时进行校验。

5 结论

①作为主要电气设备的变压器在材质、工艺、质量等方面具有较高的要求,而全密封变压器的要求更高,因此风场对全密封变压器的选择必须谨慎。

②由于全封闭变压器取消油枕,因此其在出厂前必须做带负荷试验,以验证其散热器膨胀对油位的影响情况,保证在低负荷时油位计能够看得见油,在高负荷时油能够不逸出。

③全封闭变压器在运行时要加强检查和通风,并确保油位正常、散热正常,不得过负荷运行。

④全封闭变压器在检修时要加强对箱体密封性检查,防止外部气体进入使油液受潮。

参考文献

- [1] 姚志松,姚磊.变压器油的选择、使用和处理[M].北京:机械工业出版社,2007.
- [2] 马叔阳.变压器运行过程中的检修与维护分析[J].现代制造,2017(9):51.
- [3] GB/T 17623—1998 绝缘油中溶解气体组分含量的气相色谱测定法[S].
- [4] GB/T 7252—2001 变压器油中溶解气体分析和判断导则[S].
- [5] DL/T 572—2010 电力变压器运行规程[S].