



变压器绝缘材料残余含水量测量研究

郭振岩

(大连理工大学, 辽宁 大连 116024)

摘要: 分析了绝缘材料中残余含水量对变压器的影响, 提出了一种变压器器身干燥处理过程中绝缘材料残余含水量的在线测量方法。

关键词: 变压器; 绝缘材料; 含水量

中图分类号: TM406

文献标识码: B

文章编号: 1001-8425 (2008) 03-0052-04

Research on Residual Water Content Measurement of Transformer Insulation Material

GUO Zhen-yan

(Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract The influence of residual water content in insulation material to transformer is analyzed. The on-line measurement method for residual water content in insulation material during drying process of transformer active part is presented.

Key words: Transformer; Insulation material; Water content

1 绝缘材料残余含水量对变压器的影响

由变压器的结构可知, 变压器的器身除了铁心和导线外, 大部分是绝缘材料。例如: 绕组的匝绝缘、撑条、垫块、端绝缘、纸板筒、角环和引线支架等, 基本上是由纤维质的绝缘材料构成。这些纤维质的绝缘材料通常含有 6%~8% 的水分, 在器身装配过程中, 绝缘材料还会进一步受潮或浸湿。绝缘材料的含水量严重影响介质的电气强度、变压器的可靠性和使用寿命。因此, 国家标准对不同电压等级和容量的变压器中绝缘材料的含水量做了明确规定。纤维绝缘材料的含水率一般为 6%~8%, 干燥结束后要达到的标准平均含水率为 0.5%~0.1%。

变压器绝缘材料处理是变压器生产过程中重要的环节之一。绝缘材料的处理水平直接影响到油—纸绝缘的可靠性和使用寿命, 尤其是随着超高压大型变压器的相继出现, 对绝缘材料的电气绝缘性能及机械性能的要求日趋严格。一台设计良好、制造工艺完善的变压器, 如果绝缘材料干燥处理不好, 将直接影响变压器运行的安全性和可靠性。图 1 为 5mm 层压纸板的闪络电压与含水量的关系曲线; 图 2 为

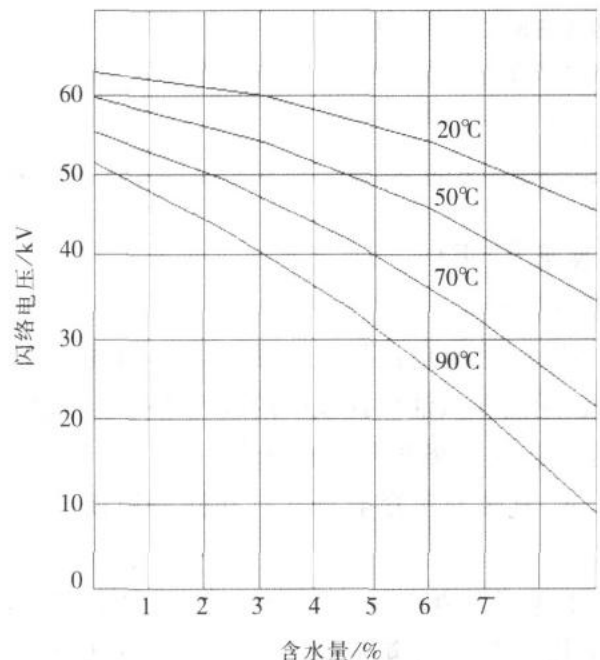


图 1 闪络电压与含水量的关系曲线

Fig.1 Curves of flashover vottage and water content

5mm 层压纸板的介质损失角与含水量的关系曲线。笔者通过图 1 和图 2 中的曲线, 分析了绝缘材料的含水量对介质电气性能的影响。

存在于绝缘件中的残余水分, 在变压器运行过程中, 对绝缘件产生降解作用, 降解出来的水分加剧

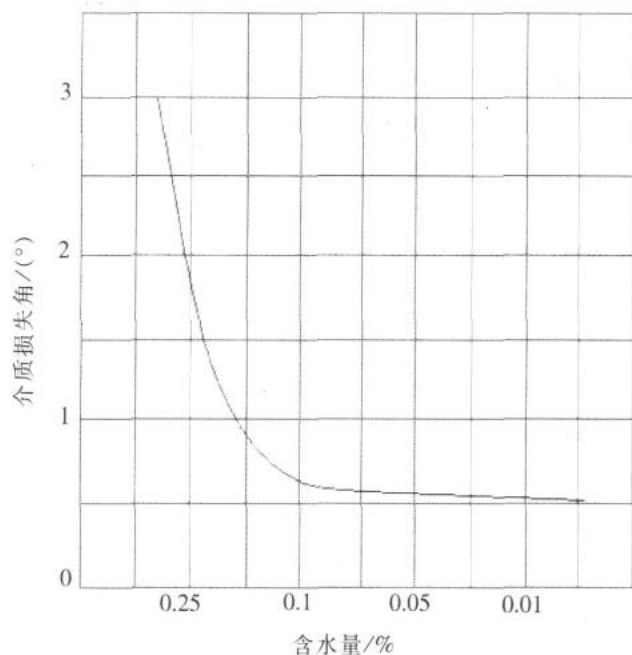


图 2 介电损失角与含水量的关系曲线

Fig.2 Curve of dissipation factor and water content

了绝缘材料的老化,使绝缘材料的机械性能和电气性能下降。因此,从根本上减少由于绝缘材料中存在水分而带来的老化现象是急需解决的问题。变压器干燥不良或在运行中吸潮、进水,会给变压器寿命带来较严重的后果。

2 绝缘材料残余含水量测量的现状

直接精确测量绝缘材料中残余含水量的方法首推卡尔费休法。这是一种经典的微水测量方法,使用得当可以获得较高的精度。但是,对于变压器生产工艺过程来说,并不是理想的测量方法。因为它要先从绝缘材料上取少量样品,经甲醇萃取后才可以测定。变压器在干燥处理的过程中,被置于密封的真空罐中,显然无法取样,一般只在处理完毕时进行一次取样测量,这种测量方法对变压器的实际生产过程意义不大。

基于介电常数测量原理的含水量测试仪器,由于稳定性和准确度等因素,未能应用到变压器的实际生产中。

由于缺少方便实用的测试仪器,变压器生产厂很少直接对变压器上的绝缘件进行残余含水量的测量,而是采取其他间接方法对干燥处理终点进行判断。

对变压器生产厂来讲,比较具有实际意义的就是对干燥处理过程中的绝缘材料的含水量进行实时监测,这对产品质量的控制和干燥处理周期的优化都有很多的好处。因此,笔者对变压器干燥处理绝缘含水量的在线监测进行了研究。

3 变压器干燥处理绝缘含水量在线监测装置的研究

3.1 基本原理

干燥处理真空罐内残余气体的水分压,反应了器身周围空间未饱和气体中所含水蒸气的多少。在一定温度下,当罐内空间气体接近平衡状态时,如果能求得绝缘材料残余含水量和水蒸气分压值之间的确定关系,便可以通过测量出的水蒸气分压给出绝缘材料的残余含水量。

3.2 真空罐内水蒸气分压的测量

对于试验研究的应用可采用类似于麦氏真空计的玻璃仪器来测量水蒸气分压,如图 3 所示。将被测气体导入成真空状态的真空计器,并用水银将其封闭。提高水银瓶的高度,使被封闭的气体进一步受压,直至相对湿度达到 100%,玻璃计器内剩下纯空气为止。继续提高汞瓶的高度,根据玻璃计器内汞面的位置和气体引入管内汞面的位置,便可以计算出纯空气的压力 P_1 。被测气体的原始压力 P_0 也是压缩比和汞面高度差的函数,这样, P_0 即可测出。

$$P_w = P_0 - P_1$$

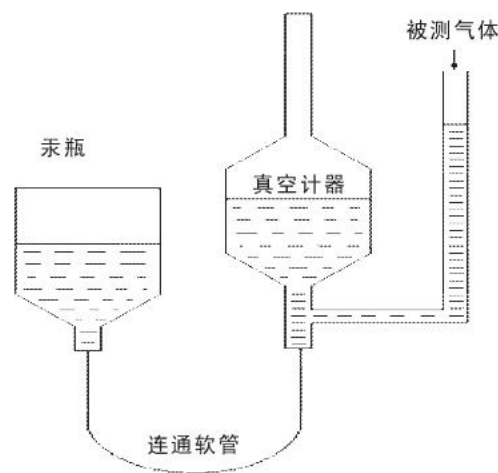


图 3 麦氏真空计装置

Fig.3 McLeod gauge device

这种测量水分压的方法由于存在操作繁琐、测量周期长和影响测量结果的人为因素多等弊端,不适宜工业生产的现场应用。

我国引进的瑞士 Micafil 公司气相干燥设备中,带有一种基于五氧化二磷吸附原理制成的水分压测量仪。由于此仪器存在受环境影响大,对真空容器密封要求严格、测量周期长以及需要经常更换有毒的五氧化二磷等弊端,其应用状况也不是很好。

笔者提出了一种使用露点仪测量水蒸气分压的方法。采用芬兰某公司生产的 DMT242 露点变送器,它是低露点环境下进行工业控制的理想选择。

DMT242 具有较好的长期稳定性和精度,而且量程宽、响应速度快。DMT242 采用该公司的 DRYCAP[®] 高分子薄膜传感器并配以自动校准软件,其传感器比较适合干燥环境下的湿度测量。该传感器具有抗冷凝、抗灰尘影响和抗油污等优点。

露点是指在一定的气体压力下,当温度一直下降到气体饱和状态,水蒸气开始凝结的一瞬间的温度。结露温度与环境气氛的水蒸气分压有关。经研究发现,其关系是一一对应关系,即每一个结露温度(露点温度)对应环境气氛的一个水蒸气分压值。由此可见,露点温度是度量气体中水蒸气分压的一种单位制。采用专用计算软件得到的露点温度与水蒸气分压的对应关系如表 1 所示。

先由露点仪测量出当前气体的露点温度,再换算出水蒸气分压值。实际应用时,露点的分度要提高到 0.1℃,以提高水蒸气分压值测量结果的精确度。

3.3 绝缘材料残余含水量与水蒸气分压的关系

水蒸气分压的测量并不是最终的目的,关键在于如何通过水蒸气分压值来获得绝缘材料的残余含水量,将残余含水量定义为 RM 值(%)。通过大量的研究试验,总结出如下公式:

$$RM=1.226P_w^{0.3} e^{-0.025 \times (T-20)}$$

式中 P_w ——水蒸气分压, Pa

T ——真空罐内气体温度,℃

表 2 为 RM 值的计算值与实测值的对比结果。

由表 2 可以看出,计算结果与实测值比较接近,

表 2 RM 值的计算值与实测值的对比

Table 2 Comparison between calculated and measured values of RM

产品型号	P_w 测量值 /Pa	罐内气体温度 /℃	RM 计算值 /%	RM 实测值 /%
OSFPZ-360000 /500	73.86	105	0.53	0.57
DFPS-250000 /500	81.33	105	0.55	0.56
DFPS-240000 /500	66.66	105	0.52	0.68
SFP3-120000 /220	42.66	105	0.45	0.40
SFPZ4-120000 /220	51.99	105	0.48	0.44
SFP-63000 /220	42.66	105	0.45	0.40
SFPS-180000 /220	186.65	105	0.70	0.81
SFPS-120000 /220	73.33	105	0.53	0.57
SFPSF3-120000 /220	125.32	105	0.62	0.70

可以满足实际生产的需要。

3.4 变压器干燥处理绝缘含水量在线监测装置的实现

计算机技术的飞速发展和成本的降低,给工业应用提供了便利的条件。用计算机技术实现绝缘含水量测试比较方便,并可以实现全自动测量,无需人工的操作,其工作流程如图 4 所示。露点仪用于变压器干燥处理水分压的测量,已经集成到某厂的气相干燥设备上,并已经运行一年多,运行状况良好。露点仪安装位置示意图如图 5 所示;实物安装照片如图 6 所示。

3.5 存在的问题及解决办法

(1) 变压器干燥设备的前级泵一般采用含泵油

表 1 露点温度与水蒸气分压的对应关系

Table 1 Relation between dew-point temperature and voltage division of water vapour

露点温度 /℃	水分压 /Pa	露点温度 /℃	水分压 /Pa	露点温度 /℃	水分压 /Pa	露点温度 /℃	水分压 /Pa	露点温度 /℃	水分压 /Pa
0	609.74	-16	150.31	-32	30.75	-48	5.02	-64	0.62
-1	561.31	-17	136.91	-33	27.65	-49	4.44	-65	0.54
-2	516.46	-18	124.62	-34	24.84	-50	3.93	-66	0.47
-3	474.91	-19	113.34	-35	22.30	-51	3.47	-67	0.41
-4	436.42	-20	103.01	-36	20.00	-52	3.06	-68	0.35
-5	400.79	-21	93.55	-37	17.92	-53	2.70	-69	0.30
-6	367.84	-22	84.89	-38	16.04	-54	2.38	-70	0.26
-7	337.38	-23	76.97	-39	14.34	-55	2.09	-71	0.22
-8	309.23	-24	69.74	-40	12.81	-56	1.84	-72	0.19
-9	283.25	-25	63.14	-41	11.44	-57	1.61	-73	0.17
-10	259.27	-26	57.11	-42	10.20	-58	1.41	-74	0.14
-11	237.17	-27	51.62	-43	9.09	-59	1.23	-75	0.12
-12	216.80	-28	46.62	-44	8.09	-60	1.08	-76	0.10
-13	198.04	-29	42.06	-45	7.19	-61	0.94	-77	0.089
-14	180.78	-30	37.92	-46	6.38	-62	0.82	-78	0.076

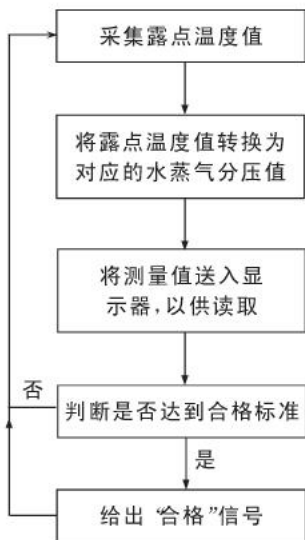


图 4 绝缘含水量测试工作流程图

Fig 4 Flow diagram of water content of insulation

的旋片泵或滑阀泵, 如果泵油严重污染 (含较多的水分), 那么泵温升高后将会导致水分向真空系统中反流, 严重影响测量值。一台状态良好的真空泵可以轻松将露点降到 60°C , 而一台泵油受污染的真空泵要把露点降到 30°C 都比较困难。解决办法是加强真空泵的维护管理, 使真空泵保持良好的工况。另外, 可以在泵入口增加冷凝器来避免水分的反流。

②处理变压器返修品时, 器身带有大量的变压器油。这些油一部分在高温下挥发, 而另一部分在真空管道中凝结后会滴到露点探头的过滤罩上, 妨碍了传感器感知气体的湿度。解决办法是在露点探头上加个防护盖, 防止油滴落到露点仪探头的过滤网上。

4 结束语

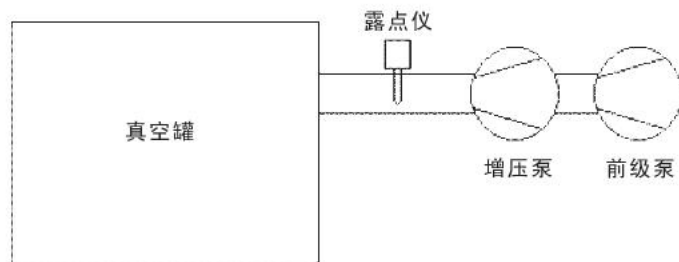


图 5 露点仪安装位置示意图

Fig 5 Installation diagram of dew-point meter



图 6 露点仪实物安装照片

Fig 6 Installation photograph of dew-point meter

变压器生产厂迫切需要一种可以在线监测干燥处理过程中绝缘残余含水量的方法。笔者以大量试验的结果为依据, 结合现代传感器技术和计算机技术, 提出了一种变压器绝缘材料残余含水量的测量方法。解决了卡尔费休法只能在干燥处理完毕以后一次采样测量的弊端, 并且实现了全自动测量和免维护, 为变压器器身干燥处理设备提供了一种方便、直观的绝缘件残余含水量的在线测量方法。

收稿日期: 2008-01-28

作者简介: 郭振岩 (1964-), 男, 河北滦南人, 大连理工大学在读博士后, 主要从事变压器技术的开发及研究工作。

特变电工沈变集团 1.36 亿元专项补助资金已到位

日前, 特变电工沈阳变压器集团有限公司的特高压交直流输电变电设备产业技术升级建设项目, 被国家发改委列入 2007 年重大装备自主化专项 (第九批) 中央预算内专项资

金 (国债) 投资计划。沈阳市财政局向沈变公司下达国债专项资金 1.36 亿元, 专项用于该项目投资补助。目前, 公司已经收到该补助, 并将进入特变电工 2007 年资产公积金科目。

许继变压器公司被评为“2007 年河南省质量管理先进企业”

日前, 河南省质量技术监督局依据国务院《质量振兴纲要》、《中华人民共和国产品质量法》和《河南省质量振兴实施意见》有关规定, 结合企业质量管理工作实际, 评出了 16 家

“全省质量管理先进企业”。许继变压器公司榜上有名, 被授予“2007 年河南省质量管理先进企业”称号。