

水分对变压器油绝缘击穿电压的影响

电力变压器使用油液与纤维素做为冷却介质和绝缘材料, 绝缘击穿电压(绝缘强度)是变压器油的重要参数之一。在变压器整个使用寿命周期内, 通常采用取样方式对击穿电压进行检测, 进而对变压器使用进行监测。

人们通常认为有以下几个因素会对击穿电压造成影响, 例如: 水分、颗粒、酸度和压力[3, 4, 5, 6]。本文试图通过深入研究多种典型油样, 揭示绝缘击穿电压与油中水分之间的关联性; 同时指出在线水分测量的一些优势。

材料和方法

本文章所列举的变压器油样(表1)是三份矿物油、一份合成酯油和两份取自正在运行的变压器中的矿物油。此外对其中两份矿物油采用模拟式氧化处理进行老化处理, 即向150°C油液容器中吹入空气, 用一块金属铜做为催化剂。经过几天的处理, 油液颜色变成茶褐色, 介质损耗因素数值增加到约1.6。

油样的击穿电压是在室温环境中根据IEC60156标准, 采用BA100击穿分析仪测量的(b2电子公司)。测量结果显示6

种油样的击穿电压在每一个水分含量水平下都具有典型的重复特性。油液中水分含量相对于它的饱和点(即油液水活度)是由维萨拉公司的MMT330变送器检测的, MMT330的测量探头是插入到击穿电压分析仪的测量室中。变送器有一个电容型的传感器, 当水分子渗透到传感器中高分子薄膜时, 水分子数量会引起传感器电容值改变, 而水分子的多少是由传感器周围水活度决定的。

测量变压器油液绝缘击穿电压的方法已在IEC60156标准[1]中描述, 根据检测数据进行变压器的维护指南是在IEC60422[2]标准中。

例如对于170kV新的变压器, 推荐的绝缘击穿电压下线是60kV。如果击穿电压小于50kV, 就表明需要对油液进行重复监测[2]。

图表1: 本研究中所用的油样

油样1	矿物变压器油1, 新油
油样2	矿物变压器油1, 旧油
油样3	矿物变压器油2, 新油
油样4	矿物变压器油2, 旧油
油样5	矿物变压器油3, 新油
油样6	合成酯矿物变压器油, 新油
油样7	变压器1 (自2001年起运行, 2011年9月取样)
油样8	变压器2 (自1972年起运行, 1993年重新处理油液, 2011年9月取样)

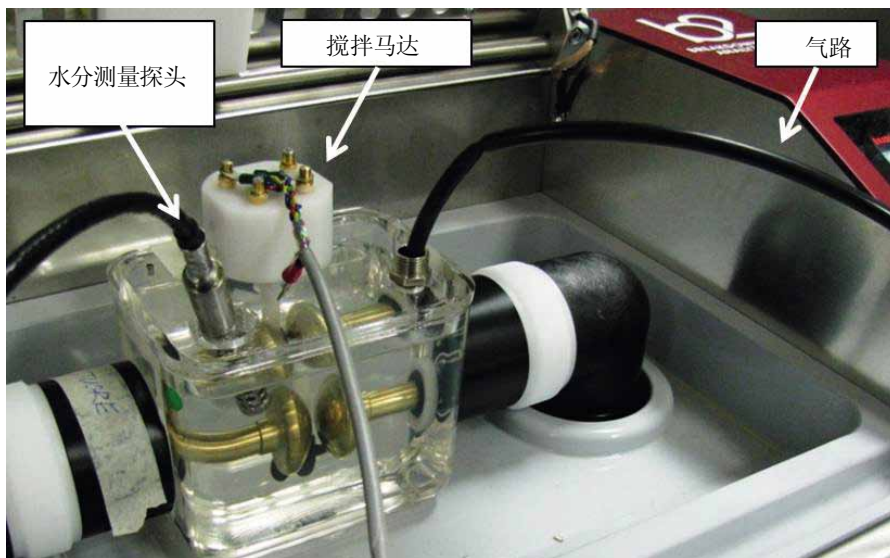


图1 绝缘击穿电压分析仪测量室，配有一个水分测量探头和一个吹入潮湿氮气的气路

为了在变压器油液中获得不同水分，将饱和氮气吹入油液中并不停地搅拌。浸入在一个由温度控制的槽体内的一个饱和器是用来调节氮气气流的湿度，进而调节油样的水分。在击穿电压测量结果出来前将氮气关断。图1显示的是配有水分测量探头和通气管路的测量室。

测量结果和讨论

图2呈现的是油中相对水分饱和度数值（水活度）与绝缘击穿电压之间的某种关系，每一点代表了六个击穿电压的平均值。任何一种油样的击穿电压都与其对应的干燥油液击穿电压进行了“正常化”处理，以便区分出对应不同的数值（60…88kV）。从中可以看出，当相对水分饱和度数值低于20%时，击穿电压几乎没有变化，而当数值高于20%时，电压呈明显下降。

似乎所有试验的油样都表现出相似的油中水分与绝缘击穿电压这种关联关系，而新油没有预想的这种关系。根据参考文献[4]对新油和老油存在差异的解释是击穿电压取决于油中小分子酸性物质，而不是介质损耗因子。

表2是对应实验测量数据的一个数学模型公式。虽然只是近似公式，但也能用来说明油中水分的变化与击穿电压之间的关系。

需要特别指出的是上述击穿电压数学模型公式中油中水分含量是指相对饱和水分，而不是用ppm表述的水分。这一点很重要，这是因为油中水的溶解度会与油液种类不同而有很大的不同，同时溶解度还受油温、使用时间长短的影响。这里水的溶解度是指在给定一个相对饱和数值所对应的ppm值[7]。图3显示的是两

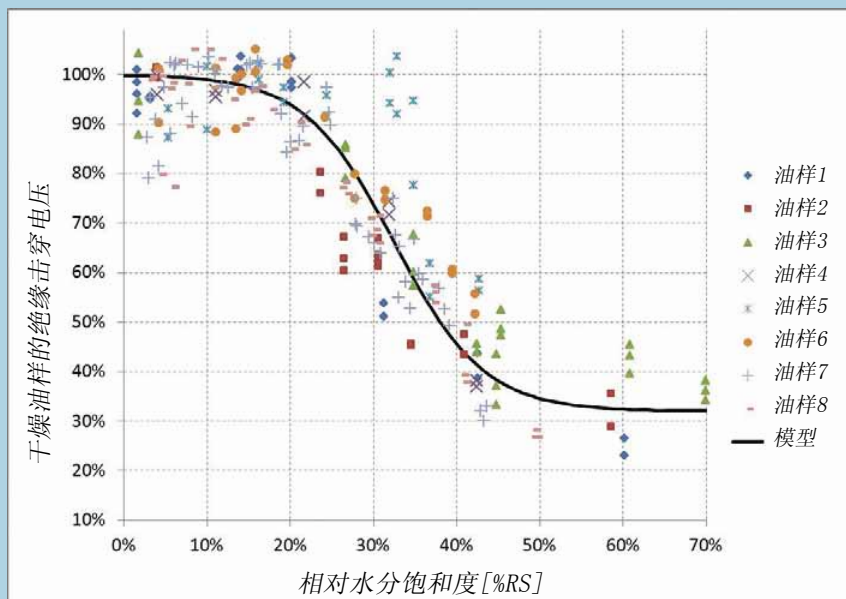


图2 与相对水分饱和度有关联的被测绝缘击穿电压数学近似模型数据图。每一点都是六个击穿电压的平均值，击穿电压是根据IEC60156标准规定方法检测的。

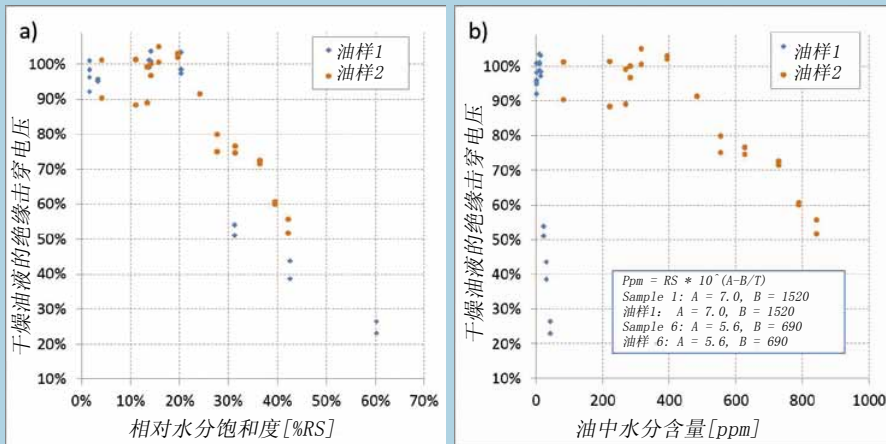


图3 相对水分饱和度/绝缘击穿电压关系(a)与水分含量ppm/绝缘击穿电压(b)的比较图。油样1是典型的矿物油,而油样6是水溶性非常高的合成酯油。油的特定溶解系数用插件方式显示。

很明显地看到绝缘击穿电压在相对水分饱和度小于20%时几乎没有什么变化,而在20%以上则有快速下降趋势。

种具有不同溶解度的油样中相对饱和与ppm之间的差异。为了计算两个样品油液的ppm所需要的两个溶解系数是由库伦滴定法和油温变化所得到的,请见参考文献[8]中描述。对于绝缘击穿电压,图3中的对比说明油中相对饱和水分比ppm值更能对考虑绝缘击穿电压提供有用信息。

在一个典型的变压器日常维护中,对绝缘击穿电压的监测通常采用油样采样方式在实验室分析,一般两年一次。但是有报道称,除了由于绝缘纤维素老化降级引起的油中水分缓慢变化外,也许还应考虑变压器负载和周围环境温度的变化所引出短时水分变化[9]。这种相对水分饱和是由两方面引起的,一是油液与绝缘体纤维素之间的水分迁移,二是与油液温度有关的一个溶解度。综合考虑上述击穿电压结果,可以看出绝缘击穿电压在整个变压器运行过程中是动态波动的;这在参考文献[10]中也有阐述。充分了解由于水分含量不同所引起的击穿电压瞬时变化,对变压器的运行和维护都是大有益处,这可以通过在线测量相对水分饱和度而获得。

小结

水分对变压器油的绝缘击穿电压影响的研究是通过八种老油和新油油样进行的,所有试验的油样都有非常相似的结果,即相对水分饱和度与击穿电压有其关联度。当相对水分饱和度小于20%,击穿电压可以保持较高的水平;但当相对饱和度增加时,击穿电压有显著的下降。为了能方便地描述击穿电压与水分变化的关系,根据得到的数据建立起了一个数学模型。这个数学模型公式被认为是对在线水分测量提供更好的帮助,这样就可以检测到短期击穿电压变化情况,进而更可靠地监测变化趋势,以及减少由于不正确地油样采集所带来的测量误差。

参考文献

- [1] IEC 60156 International Standard, Insulating liquids - Determination of the breakdown voltage at power frequency - Test method, Second edition, International Electrotechnical Commission, 1995
- [2] IEC 60422 International Standard, Mineral insulating oils in electrical equipment - Supervision and maintenance guidance, Third edition, International Electrotechnical Commission, 2005
- [3] CIGRE 349, Moisture equilibrium and moisture migration within transformer insulation systems, CIGRE working group A2.30, 2008
- [4] M. Koch, M. Fischer, S. Tenbohlen, The breakdown voltage of insulation oil under the influences of humidity, acidity, particles and pressure, International Conference APTADM, 2007, Wroclaw, Poland
- [5] P. J. Griffin, Water in transformers - so what!, National Grid Conference on Condition Monitoring in High Voltage Substations, Dorling, 1995
- [6] E. Gockenbach, H. Borsi, Performance and new application of ester liquids, Proceedings of 2002 IEEE 14th International Conference on Dielectric Liquids, 2002, Graz, Austria
- [7] T. Gradnik, M. Koncan-Gradnik, N. Petric, N. Muc, Experimental evaluation of water content determination in transformer oil by moisture sensor, IEEE International Conference on Dielectric Liquids, 2011, Trondheim, Norway
- [8] Vaisala MMT330 User Guide, retrieved from www.vaisala.com
- [9] C. Feely, Transformer moisture monitoring and dehydration - Powercor experience, TechCon Asia-Pacific, 2006, Sydney, Australia
- [10] B. Buerschaper, O. Kleboth-Lugova and T. Leibfried, The electrical strength of transformer oil in a transformerboard-oil system during moisture non-equilibrium

VAISALA

更多详情, 请访问 cn.vaisala.com,
或联络我们: chinasales@vaisala.com
维萨拉环境部客户支持电话: 400 810 0126

www.vaisala.com



扫描二维码, 获取更多信息

Ref. B211282ZH-A ©Vaisala 2013
本资料受到版权保护, 所有版权为Vaisala及其合伙人所有。
版权所有, 任何标识和/或产品名称均为Vaisala及其合伙人的商标。事先
未经Vaisala的书面许可, 不得以任何形式复制、转印、发行或储存本手册
中所包含的信息。所有规格, 包括技术规格, 若有变更, 恕不另行通知。
此文本原文为英文, 若产生歧义, 请以英文版为准。

