

电力变压器电气高压试验的技术要点分析

陶 涛

(甘肃电器科学研究院)

摘要：电力变压器在输配电过程中承担着非常关键的一环，如果其发生问题，将干扰整条线路的正常工作，甚至影响着用户的工作与日常生活，所以在实际工作中对电力变压器做好相应的电气高压测试是十分必要的，本文将重点就电力变压器的电气高压测试过程中的操作要求加以研究介绍，以供参考。

关键词：变压器；电气高压试验；技术要点

1 电力变压器电气高压试验条件

1.1 稳定、良好的电源及准确的测试设备

试验电源的电能质量会直接影响施加到被试电力变压器的电流和电压大小，从而得到不准确的数据，测试设备的精度、升压速率也会影响数据的准确性。例如电力变压器的外施耐压试验，标准有明确的升压速度要求和电压测试的不确定度要求，过快的升压速度有可能使施加的电压高于标准要求电压，从而可能导致电力变压器发生击穿闪络现象，而过慢的升压速度也会让电力变压器提前承受被试电压，超过标准要求的 60s 耐压时间。

具体部分所用设备和仪表的试验要求如下。电压互感器和电流互感器：中型以下变压器推荐采用不低于 0.2 级，大型变压器推荐采用不低于 0.05 级；功率分析仪或类似仪器：在测量的功率因数下推荐采用不低于 0.5 级；温度测试仪：推荐采用测量偏差不大于 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ；直流电阻测试仪：推荐采用不低于 0.2 级；测量冲击波的试验电压值的扩展不确定度为 $\leq 3\%$ ，波形时间的扩展不确定度为 $\leq 10\%$ 。

1.2 适宜的环境

环境包括温度、湿度、气压。标准中有明确规定，例如，变压器大部分试验要在环境温度 5°C 以上、 40°C 以下的情况下进行，而温升试验则需要在环境温度 10°C 以上、 40°C 以下的情况下进行，一方面为了避免环境温度对试验的影响，另一方面部分采集测量仪器仪表在低温下也是不准确的。环境湿度要保持不大于 80%。气压主要针对的是海拔问题，在高海拔使用或者试验场所所在高海拔地区时，都需要对试验电压和试验电流进行相应的换算。为了满足环境的要求，也可以人为制造环境，例如低温时，可以在周围放置暖风机提高周围环境温度，南方湿度较大时，也可以使用一些除湿功能，以降低环境湿度。目前在一些机构或厂家，在条件允许的情况下，自制环境箱，在环境箱内控制温度、湿度，以此达到试验要求。

1.3 适宜试验的场所

试验场所的大小、环境、设施对试验过程也会造成影响。例如温升试验，除了上面提到的环境要求外，还要无风环境，以避免风的流动影响温度；局

放试验的周围如果用较高的导体，需要接地，否则会
对局放量有影响；噪声试验中，对室内的屏蔽要做
好，背景噪声也要得到控制，周围也不能存在物体，
影响到所采数据的真实。

1.4 有较强专业素质的试验人员

试验技术人员要掌握基本变压器试验知识，了解
试验设备和被试件，掌握仪器设备与试验的作业指
导书。刚加入试验的实习工作人员，须在有经验的工作
人员监督下进行指定的试验工作，并不得兼任工作主
任和监护人。同时，如有外来的从事试验工作人员，
应做好现场的安全工作人员培训上岗。

开展变压器的高压试验时，试验工作人员必须不
少于两人，且须确定试验责任人和安全负责人，对试
验工作人员的安全情况进行全面管理。试验主任应由
从事变压器高压试验工作两年以上的助理工程师，中
级及以上职称技术人员，熟练掌握试验技能的高压试
验技术人员兼任。

2 电力变压器电气高压试验要点

2.1 试验前的准备

测试前必须熟悉被测试的电力变压器及有关资
料，包括操作手册，铭板信息等，并针对将要开展的
测试项目，根据所使用试验装置提出相应清晰合理的
测试方法，并针对被测试品的型号尺寸、容量、测试
电压和电流，选定适当的试验装置参数和测试电路，
以及可能要求的交流电抗器补偿容量；交流变压器油
箱必须安全接地，按试验规定对绕组正确接地，当铁
心与夹件之间分别有引出线时，也应使其连接端子安
全接地；但由于轴向分裂变压器的特殊构造，在进行
局部放电试验时，系统容升较高，要特别注意电抗器
的补偿容量；准备应急预案，内容包括发生起火情况
的处理措施，测试流程中遇到问题的决断等，然后按
照测试方案还必须配备相应的试验设备，根据测试方

式需要适当的母线/排；试件周围不能受墙壁、供电
设备、堆积物和外界辐射气流等的影响；必须检查装
有释放阀的套管升高座、低压接线盒、套管、制冷系
统和有载分接开关均应检测放气，直到溢油为止；应
确认油泵、风机旋转方向是否正确；应确认分接开关
的位置是否正确；应布置温度传感器。

2.2 试验过程中的关键点

试验过程中要严格按照试验方案接线和试验，该
接地线的试验和位置必须接地线；试验中严格遵守相
关的安全要求，试验人员要对操作流程和操作规范了
如指掌，试验过程穿戴防护用品，试验后先放电再操
作；试验过程中接线螺丝需要拧紧，避免高电压试验
室发生放电或者大电流下发热；试验过程中要避免闲
杂人员进入试验区域，并在周围用防护栏隔离，设置
警示标志。

目前很多资料将绝缘油改为绝缘液的称呼，因为
随着科学技术的提高，目前油浸式变压器内已经不只
有注入的绝缘油，也有其他的液体以及脂类产品，对
于绝缘液体的测试有许多，包括对绝缘液体的击穿电
流测试、介质损耗测试、含气量测试、水分试验和对
水溶液的化学气相色谱分析测试等，其中对于绝缘液
体测试，取样是很关键的部分，首先应该确保所选择
的油样能够正确表示它自身的性质，如实地反映绝缘
液体的状况，以避免因为采样不准确而得出误差的测
试结论。其要点在于将一切接触油样的仪器都保持清
洁、干燥，避免积水和杂物沾污。采样必须满足以下
条件：油样要能代替仪器自然本体油液，并尽量避免
在液体循环不完全时采样。一般取样应从设备底部的
取样阀处取，在特殊状况下，可从不同的取样部位采
样。取样过程中要保持在完全密封的状态下进行，即
取样的连接位置必须正确，而且不能在油中完全溶掉
气体中的固体物质，在操作时油中也不能产生气泡，
同时取样操作也必须在天气晴好的条件下，完成取样

后要求气体注射仪芯子也必须加以活动调节，以减少重量标准偏差的实验室。并且对油样也要避光储存。先拔出安装在放油阀上的防尘罩，同时旋开蜗杆以将燃油排出，将放油口直接安装在放油阀门上，同时将放油胶管头置于放油口的上方，首先清除从接口中的空气，待油全部排除后，将管道、焊制三通和注入仪分别焊接好后，然后安装到放油接口处，按箭头依次清除从放油阀门排出的脏油后，再清理连接管道，然后转动焊制三通，借助设备润滑油的自身压力将润滑油滴入下一个注入仪，然后用湿润的水冲洗下一个注入仪（一次注射器要清洗2~3遍），接着转动三通将装置的自然本体隔开，推一下注射仪芯子后气体随即从管道内排出，然后再转动三通与周围大气彻底隔离，并利用设备中的自身气压差，将润滑剂缓慢地滴入注射仪内。当注入仪的中油样超过了所要求体积后，将焊制三通与其本体完全分开，从注入仪上拔出焊制三通，当小胶头的部分气泡能够被油置换后，就封住了注入仪的小头，将注射仪装入油样盒内，从而实现样品标记。

变压器雷电冲击试验的过程中，所有连接线应尽可能短，所有的接地都应是低阻抗且规范连接，避免产生干扰，影响试验结果。按照国标规定和相关技术要求条款确定了试验类型和各端子的试验电压，并按照各个绕组的实验电压决定所采用的试验电压和变压器的变比，对于具有分接的三相变压器的雷电冲击试验，按照GB/T1094.3的规定，极限分接电压和额定分接电压之比小于或超过 $\pm 5\%$ ，在主分接进行，而极限分接电压和额定分接电压之比超过 $\pm 5\%$ 的，则分别从不同分接进行变压器的一相进行试验。当接线完成后，将主电源接通，并开启检测装置的供电口和检测装置，测试人员对设备测试并进行所有的测试前准备工作，而使用人员则需要在与监护人员取得联系后，确定安全的前提下，方可拿开放电棒，并进

行加电。对所接的裸铜丝应注意绝缘间隙，以避免其产生闪络。而对于自耦结构的电力变压器，对在试验电力变压器上的非试接头也应选择以小于 400Ω 的电阻连接，但同时也要确保非试端子上的电流不大于本身额定承受电流的 $75\% \sim 50\%$ 。对非试变压器的线端子也应经电阻连接接地，这样可使测试品的被测试变压器的有效电感大大提高；但也需要确保非测试变压器端子上的电压不大于整个变压器的额定耐受电压的 $75\% \sim 50\%$ 。

空载运行测试时对电力变压器施加了最高压力，使铁心电流达到了饱和，而电力变压器的高压侧电流也相当大，所以在测试中的各部分连接线都必须保持绝缘高度，并且测试人员切勿接近被测试电力变压器的终端，以防出现安全事故。空载测量时，对变压器的最大额定电流和空载额定电流进行认识，并选用正确的电压互感器和电流互感器之间的分档，在未知变压器空载性能指标的前提下，要选用较大的电流互感器分档，然后逐步调整到合适的倍数。空载试验加压过程中，随时关注表计的变动，测试过程中，安全员时时注意有关信号，如发生意外情况或事件应立即断电。测试完成后，应对测试数据与设计数值进行比较，确认测试成果能否达到工程设计的要求。当绕组中存在有绕组导线短路的电流时，直流变压器尽管可以增加空载电流，但空载损耗和空载电流却会明显上升，因此必须引起注意。经过绕组直流电阻测试、冲击耐压试验和短路承受能力测试之后，由于铁心还可以产生剩磁，因此应该重视剩磁对空载损耗和空载电流测量结果的影响，也可以利用对空载运行电流从 110% 在下降过程中进行数据的记录，这样的数据结果更加精确。

变压器负载测量电压时应从施加电压端子处选取，否则测量对结果干扰会极大，测量的故障电阻和负载损耗也会比实际的要大。测量后要记录三相电

流和三相电压并计算其平均值，方可进行下一次的计算。短路母排的直径相应增加，并与各端子连接牢固。检测时间尽可能短，防止时间过长引起变压器过热，电阻增大等造成检测结果偏大。

变压器负载试验电压信号应从施加电压端子部位选取，否则测试对结果影响将很大，测试的故障电阻和负载损耗将会比实验的更高。测试后要记下三相电流和三相电压并算出其平均值，才能进行下一次的测量。短路母排的直径适当增大，并与各端子相连坚实。测量时间尽量缩短，避免时间太久造成变压器过热，阻力增加而导致测量结果偏大。

变压器的局部放电测试，对于自耦串联的电力变压器，应选用适当的变比，并尽量使高压和中压一起达到规定的测试电流。要使测试点附近的设备和有可能引起悬浮放电的物品都安全接地，并尽可能远离被测试品。感应电压测量中施加的电压，要按照技术要求或有关工艺要求进行，以便降低励磁容量、防止铁心完全饱和状态，测量电源的频率要高，一般为正常工频的整数倍，对于全绝缘变压器应选用三相对称的交流供电，对其进行感应耐压测量。对分级绝缘的变压器选用单相电源，分相进行测量。按被试变压器的设计电压和电流，合理设置中间变压器的变压比、电压互感器和电流互感器之间的分档和补偿电抗。按规定的电压和电流选择好仪器的量程，并连接好仪器二次接地，以确定好仪器的零位。在中间交流变压器，和被试件的直接接触时要注意其绝缘高度，并注意安全。将 35kV、110kV 及 220kV 端子及中性点端子戴上防晕罩，并将 YN 连接的绕组中性点按试验方案联接。开启所使用的局部放电仪器的电源，接好测试阻抗盒，并将试验线接入局放仪中。对 U_m 值小于或等于 72.5kV，且总容量低于 10000kVA 的不带局放的交流变压器：按要求逐级合闸送电操作，合闸操作时，附加在试件上的试验电压初值要小于 1/3 为满试验电压，然后

再迅速升至 75% 的满试验电压，并按以 3% 的满试验电压速率均匀升到试验电压。试验电压的规定时间，具体计算公式为 $t=120 \times \text{测试时间} / 50$ (200Hz 计算得 30s，100Hz 计算得 60s)，然后再迅速下降电压至 1/3 试验电压下，以避免试件受到过多的长时电压，并断开电源。在整个施加电压的过程中，工作人员和测量人员都要密切注意表计，如出现异常，要迅速发出指令，迅速降低电压，切断电源。对于 U_m 等于 72.5kV 且额定容量为 10000kVA 及以上和 U_m 大于 72.5kV 带有局部放电测量的变压器，感应电压试验时，在整个试验过程中，每隔 5min 读取并记录一次各端头的视在放电量。在试验过程中要记录可能出现的起始放电电压和熄灭电压，并记录放电信号的形态，若产品的放电量不合格，应采取适当的试验方法进行判断。并对其方法和过程做详细记录。试品、分压器和周围的物体应保证足够的空间距离，否则将引起测量误差和不正常的放电。试验过程中，必须严格监视表计，遇有异常情况，应立即停止试验、停电检查。

2.3 试验结果的分析

试验结果分析一方面是要在试验过程中判断，例如在电力变压器的绝缘试验中，需要观察在耐压过程中电压是否突然发生下降，变压器内部是否有不规律的声音，这些都是对试验结果的判定。试验采集的数据也要做对比，例如对主分接为 3，电压比为 $\pm 2 \times 2.5\%$ 电力变压器，绕组电阻测量试验中，其 2 分接与 3 分接的绕组电阻差值，和 4 分接与 3 分接的绕组电阻差值应该是接近的，当然这条并不是标准所要求的判定条件，也需要注意一下。

变压器雷电冲击试验中需要对所采集的电压和电流波形进行对比，若所比较的记录之间没有显著的差异（不包括能够得到合理解释的试验电压的微小差别），而且连续记忆之间的任何改变趋向平滑，与非线性元件的适当动作一致，即可认为测试结果是合格

的。假设电流出现突然降低，在生产方和用户协商一致的情形下可以不确定测试失败，按照测试次序进行测试，接着依据原来降低的冲击电流波形重复全测试次序，如果出现进一步的电流突然降低，则确认测试不合格。测试期间其他的迹象可以作为对记录的解释，但是它们本身不能构成判定根据。

交流变压器的外施耐压和感应耐压测试过程中，应密切注意安培计及电压计的说明指示灯，当安培计未发生骤然上升，而电压说明指示灯也未发生骤然下降的异常现象，如未发出变压器内的明显充放电声音的，则认为测试通过；又如变压器中有明显的放电声响，且安培计、电压计的方向突然摆动，或在反复测试中其放电声响忽然减弱，则也视为测试合格；另若油箱中的明显充放电噪声，且安培计、电压计的指向突然摆动，或在重复试验时电容器的充放电噪声忽然下降，即视为试验合格；又或在油箱中产生突然充放电的噪声，且安培计、电压计的方向明显摆动，或电源突然停机。当再次测试时虽放电声已熄灭，但安培计、电压计的方向却已不再摇摆了，但也不可相信此测试结论正确无误，也可选择对交流变压器

进行油色谱分析，作为辅助诊断方式之一。

3 结束语

电力变压器的电气高压试验对输配电系统有着重要的意义，电力变压器的电气高压试验也具有一定的复杂性，需要从多个方面去注意，为了更准确的试验方法和数据，也需要今后在多方面去研究和讨论，从而使整个电网系统良好运行。

参考文献

- [1] 杨志慧. 浅谈电力变压器高压试验技术及故障处理 [J]. 科技风, 2019 (9): 194.
- [2] 杨斌, 杨玲. 高压电气试验过程的变压器应用分析 [J]. 数字通信世界, 2019 (3): 111.
- [3] GB 7597—1987 电力用油 (变压器油、汽轮机油) 取样方法 [S].

(收稿日期: 2024-07-25)