

# 油浸式变压器双电源温升试验系统 分析研究

王 琰 王霞娃 冯丹丹

(甘肃电器科学研究院)

**摘要：**油浸式变压器在实际运行过程中由于大电流产生的热效应可能会使变压器及其附件绝缘性能发生变化，变压器的温升试验是模拟变压器绕组和冷却介质在特定环境条件一定电流情况下产生的焦耳热是否会影响其工作性能的过程，此过程是一个连续的施加电流过程，严格意义上，变压器的整个温升试验过程是不允许中途掉电的，双电源温升试验系统对变压器的稳定性的验证显得尤为重要。

**关键词：**变压器；双电源；温升

2024.02.DQGY  
55

## 0 引言

随着社会科学技术的不断发展，人们对电器的种类需求越来越广泛，变压器<sup>[1]</sup>可以使交流电流的电磁能<sup>[2]</sup>发生变换供用户使用。在当今工业社会中，自然能源一般都不能直接参与机械生产活动中，一般把自然能源转化成电能，电能通过变压器转换供用户使用，变压器在长期的工作过程中，变压器绕组由于热效应会使得其温度升高而导致绝缘性能发生变化，从而影响变压器的可靠性，降低用户使用的电源质量，因此，对变压器进行温升试验是十分必要的，油浸式变压器的温升试验依据国家标准 GB/T 1094.2—2013《电力变压器第2部分：液浸式变压器的温升》<sup>[3]</sup>相关要求，本系统针对油浸式双绕组变压器为试品对象，对双电源温升系统阐述介绍。

## 1 变压器温升试验系统

油浸式双绕组变压器稳态温升测定的第一种试验方法短接法是标准试验方法，此方法是高压侧接线端子施加额定电流，低压侧端子短接。第二种稳态温升测定的方法是对负载施加额定电压和额定电流，此方法适用于容量小的变压器，对于容量较大的变压器高压侧额定电压和低压侧额定电流比较大，从而对电源的要求比较高，以至于不容易实现。第三种稳态温升测定方法为相互负载法<sup>[4]</sup>，此方法是可通过两台变压器并联，其中一台被试变压器作为试品对象，对试品变压器施加额定电压励磁，通过两台变压器不同的电压变比，从而测定稳态温升，相互负载法对施加额定电压励磁的变压器性能要求比较高，进行温升测定时，试验经济成本比较高，若考虑试验成本时，此方

法不是很理想。第四种稳态温升测定试验方法是“电压法”，此方法是高压侧端子和低压侧输入额外的电压，使得变压器的高压绕组和低压绕组流过额定电流，此方法考虑到变压器的空载损耗，试验时，需要进行补偿，试验比较复杂，经济成本也相对较高，综上所述，稳态温升测定的常见方法为短接法，试验方法简单，易操作。

短接法一般分为两个阶段，试验第一阶段是施加总损耗试验电流的过程，施加总损耗直至达到动态热平衡，此过程测定顶层油温升和油平均温升，试验第二阶段是施加额定电流阶段，顶层油温升测定之后，迅速将试验电流降到额定电流进行试验，用电阻法来测定绕组的平均温升。试验接线图如图 1 所示，试品高压侧接入变压器试验系统，低压侧短接，模拟负载运行情况下的温升情况<sup>[5]</sup>，测量点温升符合相关要求温升限值。中间变压器是电网输出和被试变压器的电压转化装置，中间变压器输出容量等于试验容量，其输出电压等于试验电压，功率分析仪对负载实施监测分析。

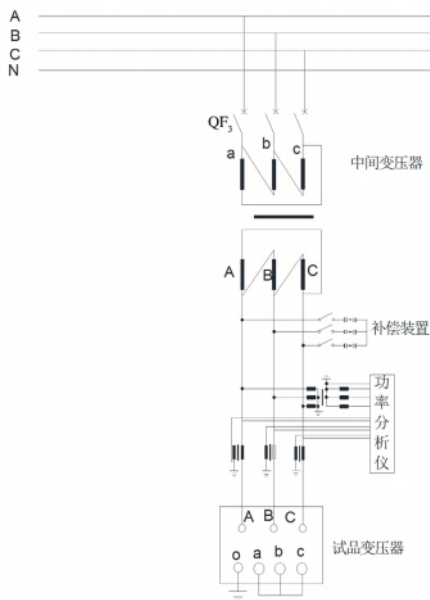


图 1 油浸式变压器温升试验接线示意图

对于分接范围小于  $\pm 2.5\%$ ，额定容量小于 2500kVA 的变压器，一般只考虑主分接位置的温升限值符合温升限值，不同的冷却方式主分接位置的温升限值是不同的，如下表所示，表明了电阻法测量常见冷却方式下油浸式变压器顶层绕组平均温升不同的限值。

表 不同冷却方式的温升限值表

| 冷却方式 | 温升限值 (K) |
|------|----------|
| ON   | 65       |
| OF   | 65       |
| OD   | 70       |

对于容量大于 2500kVA 或者分接位置超过 5 个分接位置的变压器，在适当的容量和分接电压的条件下，温升限值对所有的分接都适用。不同分接位置所对应的负载是不同的，最大负载损耗一般是最大的电流对应的分接位置。但对于自耦变压器来讲，最大损耗的分接并不是最大电流对应的分接，其取决于分接的布置情况，自耦变压器的公共绕组的位置不同，分接开关的布置不同，其所对应的损耗与之不同，对于多绕组变压器来讲，当其他绕组的容量之和等于一个绕组的额定容量时，温升要求是模拟各绕组同时在额定负载运行条件下的温升情况，其满足温升要求。如果绕组的额定容量之间并没有关联，则选定一种或者几种负载组合运行条件下，满足温升要求。

## 2 变压器温升试验双电源系统

考虑到温升试验达到热平衡状态下的时间比较长的过程，此过程若电源发生故障或突然掉电，则平衡状态破坏，试验截止，需要重启此过程，双电源的温升试验系统就很好地解决了这一缺陷，当主电源发生电气故障或者机械故障时，备用电源收到故障信号，备用电源投入运行。可以使用双电源转换开关，由两个接触器构成，接线示意图如图 2 所示，双电源转换开关可以两路电源分别切换投入。

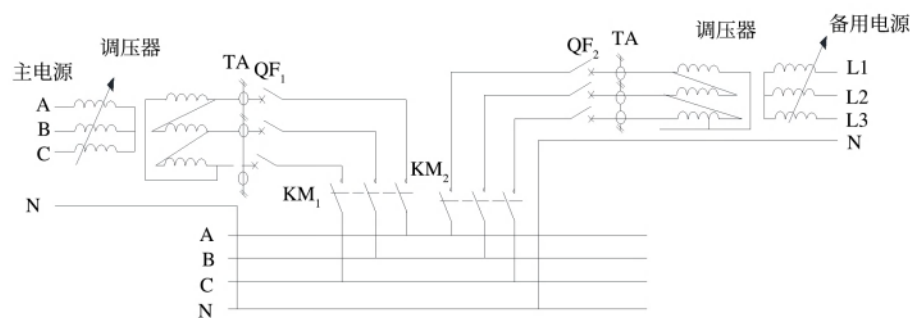


图2 变压器双电源温升试验一次系统接线图

针对该系统，主电源从主电网接入，通过三相调压器对电网输出的电压进行调节控制，保证电网电源质量，断路器  $QF_1$  对主回路进行投入退出控制，若断路器  $QF_1$  合闸，则主电源投入运行，主电源若发生电气故障或者机械故障， $KM_1$  接收到信号，主电源回路断开， $KM_2$  接收到信号，备用电源启动。备用电源运行原理同主电网电源回路。备用电源使得整个变压器温升试验过程的连续性更加可靠。

### 3 变压器温升试验施加总损耗的测试系统

总损耗的测量分为两个阶段，第一阶段测定空载损耗，第二阶段测定负载损耗，二者修正值之和便是施加总损耗。通常温升试验考虑到空载损耗，一般施加总损耗稍微大一些。

空载损耗试验是变压器低压侧端子施加额定电压，高压侧端子选择开路，低压侧绕组一般情况下分接开关打到主分接位置。如果变压器绕组是开口三角形连接，其则闭合，试验过程中变压器中心点、铁心和夹件等与油箱可靠接地。对于容量不同的变压器，空载电流比为最大容量的。试验接线示意图如图3所示。

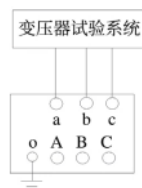


图3 变压器空载损耗测定接线示意图

施加试验电压整个过程中，注意电阻试验对铁心滞留的剩磁产生的涌流对空载损耗和空载电流的干扰导致的测量误差。一般情况下影响不大，也可进行消磁之后再此试验。对变压器施加电压励磁，降压到零，然后施加额定电压励磁，保持几分钟，损耗和电流没有下降，进行记录，励磁电压以平均值电压为准，该平均值与方均根电压值一致。空载损耗的允许偏差最大一般为 +15%，如果励磁电压平均值和方均根电压值相差在 3% 以内，则电压的波形满足要求，所测量的损耗值为空载损耗，若励磁电压平均值与方均根电压相差大于 3%，则需要对空载损耗按照式（1）和式（2）进行修正：

$$P_0 = (1+d) P_m \tag{1}$$

式中， $P_0$  为空载损耗修正值，kW； $P_m$  为空载损耗测量值，kW； $d$  为修正系数。

$$d = \frac{U' - U}{U} \tag{2}$$

式中， $U'$  为励磁电压平均值，kV； $U$  为方均根电压，kV。

负载损耗测定时，高压侧接变压器试验系统中，低压侧短接，接线示意图如图4所示，在额定频率下施加高压侧额定电流，试验尽快进行，减少温升导致的负载损耗的偏差，顶层油温和底层油温相差不小于等于 5K，负载损耗应校正到参考温度下。

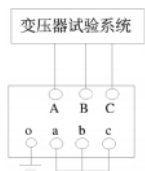


图4 变压器负载损耗测定接线示意图

对于大容量、低电压变压器的负载损耗试验，当试验设备受到限值时，可以与客户协商，降低试验电流进行负载损耗和短路阻抗测定<sup>[6]</sup>，对于分接范围小于±5%的油浸式变压器，一般在主分接和极限分接进行试验，测定主分接的负载损耗修正值和两个极限分接位置的短路阻抗值。负载试验施加的电流以三相负载电流的算术平均值为准。环境温度下损耗和短路阻抗按式（3）和式（4）换算到参考温度：

$$P_k = \frac{P_{kr} + (K^2 - 1) \times \Sigma I^2 R}{K_t} \quad (3)$$

式中， $P_k$  为参考温度下的负载损耗，kW； $P_{kr}$  为  $t^\circ\text{C}$  的负载损耗，kW； $\Sigma I^2 R$  为试验温度下一对绕组的电阻损耗，kW； $K_t$  为电阻温度换算系数。

$$Z_k = \sqrt{Z_{kr}^2 + \frac{P_k^2 - P_{kr}^2}{(10S_r)^2}} \quad (4)$$

式中， $Z_{kr}$  为绕组温度为  $t^\circ\text{C}$  时的短路阻抗，%，kW； $U_{kr}$  为绕组  $t^\circ\text{C}$  时通过试验电流  $I_k$  的阻抗电压，kV； $I_k$  为试验电流，A； $U_r$  为高压侧额定电压，kV； $I_r$  为高压侧的额定电流，A； $Z_k$  为参考温度下的短路阻抗，%； $P_{kr}$  为  $t^\circ\text{C}$  的负载损耗，kW； $P_k$  为参考温度下的负载损耗，kW； $S_r$  为额定容量，MVA。

综上，可以确定变压器的总损耗，施加变压器的最大损耗的试验电流时，测得顶层油温升，由于试验电流大于额定电流，绕组温升与之增高，试验中，要实时监测顶层油温升和冷却介质温升是否达到热平衡状态<sup>[7]</sup>，若温升变化率小于 1K/h，则达到热平衡状态，热平衡状态持续 3h，并取最后 1h 的温升平均值，然后立即降试验电流至额定电流时，此试验期间，间隔 5min 记录绕组、冷却介质和顶层油温，试验进行 1h，则立即断开电源，打开低压侧端子的短接线<sup>[8]</sup>，

测量绕组电阻，根据标准 GB/T 1094.2—2013《电力变压器第 2 部分：液浸式变压器的温升》<sup>[3]</sup> 计算出绕组温升。

## 4 结束语

电源质量对于变压器的温升试验至关重要，变压器双电源温升系统弥补了一路电源发生电气故障或者机械故障不能运行的缺憾，在主电源变压器温升系统进行故障检修时，启动备用电源回路，从而不影响变压器温升试验系统的使用。此系统对于变压器生产企业的出厂试验和第三方认证检测机构具有一定的参考意义。

## 参考文献

- [1] 保定天威保变电气股份有限公司. 电力变压器手册 [M]. 北京：机械工业出版社，2014.
- [2] 黄强，孙玉洁. 大容量轴向分裂变压器的磁场特点及影响分析 [J]. 变压器，2016，53（10）：27-32.
- [3] GB 1094.2—2013 电力变压器第 2 部分：液浸式变压器的温升 [S]. 北京：中国标准出版社.
- [4] JB/T 501—2021 电力变压器试验导则 [S]. 北京：中国标准出版社.
- [5] 李元，刘宁，梁钰，等. 基于温升特性的油浸式变压器负荷能力评估模型 [J]. 中国电机工程学报，2018，38（22）：6737-6746.
- [6] 刘广西. 变压器短路阻抗的能量法工程计算 [J]. 变压器，2016，53（10）：13-15.
- [7] 朱天佑，冷红魁，胡骥，等. 变压器铁芯磁场分布规律研究及温升精确计算 [J]. 电工技术，2019（15）：46-48，51.
- [8] 严璋，朱德恒. 高电压绝缘技术 [M]. 北京：中国电力出版社，2002.

（收稿日期：2023-11-02）