

# 浅谈变压器温升试验

王文浩 郑文文 徐小博

甘肃电器科学研究院，甘肃天水，741018；

**摘要：**变压器温升会加速变压器的老化，进而破坏绝缘性能。本文从设备参数、试验原理、试验前项目、试验数据验证展开，得出结论：短接法温升试验试验数据准确且有以下优势：设备要求低、试验周期短、电源要求低、接线简单等特点。

**关键词：**电力变压器；温升；短接法；原理图；温升曲线图

DOI: 10.69979/3060-8767.26.02.003

## 引言

变压器应用电磁感应原理，使二次侧电压电流升高或降低，满足电网中各种负荷电压等级的需求。在电压、电流转换过程中，本身要消耗一部分能量，这部分能量包括铁心损耗、铜损耗、附加损耗。这些损耗是绕组线圈存在电阻产生损耗，磁场在铁心中交变反复磁化，运动的磁畴与交变的磁场相比有滞后性，导致磁畴往复运动互相碰撞产生损耗，产生涡流损耗在铁心表面形成涡流。一旦损耗产生的热量超过变压器允许的温升限制，绝缘会迅速老化，缩短变压器的寿命。因此在变压器出厂时应该通过试验检测，得出合理的温升限值。目前温升测试方法包括：循环电流法：在高低压侧加通过额定电流下的电压，这种方法通过投入补偿，达到额定损耗损耗，试验过程复杂，对补偿要求高。直接负载法：主要应用在变压器容量不大的情况下，在高压侧施加规定电压，在低压侧施加规定电流，当低压侧要求电流很大时，要求电源容量很大，对电源容量要求高，因此此种试验方法有局限性。互相负载法：此方法需要与一台变压器并联给样品施加额定励磁电压，对并联施加电压的变压器要求较高，试验成本相较其他方法较高，通过两台变压器的不同变比测定确定样品的温升测量。短路法：低压侧短接，高压侧施加额定电流，此方法试验接线简便，对设备要求低，成本小，是一种普遍接线方法。零序法：因需在零序回路中供电，需要在绕组的一侧施加额定励磁，使绕组中产生额定电流，同时为使产生的电流形成回路，两侧绕组应分别有零序回路给零序电流提供通道，绕组磁势平衡后漏磁通常造成局部过热，YN联结中性点的电流等于3倍额定电流因此三相磁通的相序也是零，此方法对设备要求较高。因此短路法是测定稳态温升的常用试验方法。短路法相较其他几种方法更简单，实际中普遍采用，本文将介绍此种方法下的温升

试验。

## 1 电力变压器的温升

温升试验前需要测量的项目有：绕组电阻值阻，空载负载损耗测量。下面是本试验主要涉及的仪器：

### 1.1 直流电阻测试仪

将高压侧线夹与低压侧线夹对应夹在变压器的高低压侧，进行测量，双通道测量高低压数据。双通道直流电阻测试仪与传统电阻测试仪相比，最大的优势是能同时测量高低压侧电阻，缩短热态电阻测量时间，快速测量出第一个热态电阻值，在绘制温升曲线时更准确。

### 1.2 变压器试验系统

试验系统主要由中间变压器、补偿装置、功率分析仪组成。在试验时如何根据变压器选择中间变压器及补偿装置，下面进行简单的论述。

中间变压器使被试变压器与发电机输出端电压一致，中间变压器有多个容量与电压等级进行切换，选择时应按照样品容量，电压等级进行选择。在本次分析中由于被试样品容量较小，施加电压低，调压器完全能满足试验参数要求，所以本次试验未投入中间变，在此仅作介绍。在试验系统中对大容量的样品由于存在大量无功，会降低电源的功率因数，且单纯靠发电机来输出试验容量容量是十分不经济的，因此采用配补偿电容器的形式来满足试验电源。但是，此次分析不投入电容器组补偿的方式，因考虑此次分析样品容量较小，无功较低对电源不会有太大的影响，功率因数也不会有明显的变化，并且增加补偿电容器后会使成本升高，回路变的更复杂，因试验后需放电，增加了试验的安全隐患以及操作复杂性。

### 1.3 直流电阻测量

应在各绕组的线端上测量。绕组接线为星型且无中性点的变压器测量线电阻，星型接线有中性点引出测量

相电阻，对中性点引线电阻所占比例较大的yn联结的变压器，应测量其线电阻及中性点对一个线端的电阻，接线为开口三角形联结时，应测量首末端相电阻，接线为三角形测量其线电阻。

#### 1.4 空载损耗测量试验

在低压侧施加额定电压，高压侧开路的。

#### 1.5 负载损耗测量试验

给高压侧通变压器规定的额定电流，低压侧短接。

#### 1.6 变压器温升测试方法

依据 GB/T1094.2，结合试验室实际情况以及短接法优势本次温升试验接线采用短接法，并通过实际数据验证，结合图推法，得出变压器运行的温升值，确定温升范围。

#### 1.7 温升试验过程

第一阶段：目的是测定顶层和油的平均温升，在试验时通电流为额定电流 1.5 倍，快速达到总损耗功率。试验时需要持续记录顶层油温和绝缘介质的温度，该试验当顶层温升上升变化率不高于 1K/h 时达到稳定。并持续该状态 3H 以上，方结束试验第一阶段。使用自动记录装置，每隔一定时间间隔记录每个热电偶采集的温度值，试验的结果取最后 1H 内读数的值，并最后 1H 内温度读数取平均值。热特征参数实际取值需要通过第二阶段温升试验过程确定。

第二阶段：顶层油温稳定后，将 1.5 倍试验电流降到额定电流且持续通电 1H，在此期间，每 5 min 记录一次顶层、散热片和环境温度。通额定电流 1H 后，断开电源并打开短接车，投入电阻仪测量变压器高低压绕组线圈的热态阻值。

### 2 变压器温升的计算方法

#### 2.1 液体平均温度

$$\theta_{om} = \frac{\theta_o + \theta_b}{2}$$

$\theta_o$  油箱顶部的绝缘油温度     $\theta_b$  底部绝缘油温度

#### 2.2 绕组温升的计算

$$\theta_2 = \frac{R_1}{R_2} (235 + \theta_1) - 235 \quad (\text{对于铜})$$

$$\theta_2 = \frac{R_1}{R_2} (225 + \theta_1) - 225 \quad (\text{对于铝})$$

$R_1$  冷态电阻     $R_2$  热态电阻     $\theta_1$  测量冷态电阻时的温度

#### 2.3 电源快速断开时绕组温度外推法

将速切断电源后绕组温度和油平均温度作为试验估计值，试验估计值一般取顶层油温度和底层油温温度的平均值，外推法用于校正温升试验结果。取顶层油温升的 80%，变压器容量低于 2500kV 的油浸自冷式变压器，油箱外观有较为光洁的油箱或波纹状油箱或将散热管直接焊，且高于环境温度的油平均温升。当不是以试验为目的时，应采取作图法和回归分析法外推油平均温度。

电源断开瞬间在一段时间内记录到相当数量的离散数值，这是作为外推法所必需数值的。绕组温升曲线图绘出，第一步是通过外推法，外推法是将电阻值变化转变为温度值变化。从图十一可看出绕组温度在开始几分钟内，下降相当快，然后便缓慢地下降。对于液体热时间常数非常大的变压器（主要指额定容量比较小的自冷变压器），可以假定其液体温度变化渐近线是一条水平线。对试验电源断开后要求仍要求强迫液体循环冷却装置运行的大型变压器，找出一条下降的渐近线，在该渐近线上叠加初始变化较快的部分。横轴将时间间隔均匀的分布在线性直角坐标（见图一）；按照对应时间将连续记录的热电阻值一一标注在坐标上，将各个孤立的点用弧线连接起来。用热电阻逐点增量  $\Delta R_i$  插点，作斜线 L，通过斜线 L 在另一端可以推出断开电源后的热电阻值  $R_2$ 。

热电阻  $R$  随时间  $t$  变化而变化，  $R-t$  函数关系可以看成由常数部分  $Ao$  与随时间常数变化的  $g$  值。

$$R(t) = Ao e^{\frac{-t}{T_o}} + g e^{\frac{-t}{T}}$$

根据公式  $R(t) = Ao e^{\frac{-t}{T_o}} + g e^{\frac{-t}{T}}$  和温升试验方法，利用计算机软件，将测量的热电阻值与测量时间间隔输入，即可得到热电阻曲线图。

用拟合曲线  $R(t) = Ao e^{\frac{-t}{T_o}} + g e^{\frac{-t}{T}}$  外推出的冷却曲线。

### 3 结果分析与验证

为了验证短接法温升试验的合理性，本试验选用一台 500kVA，电压比 10/0.4kV，温升极限为 60K 的油浸式变压器，开展此次温升试验验证。试验分三步骤，首先测量温升试验前变压器绕组的电阻数据，空载损耗、负载损耗。其次通变压器的规定的总损耗，待顶层油温稳定后，降至额定电流 1h，并未维持 3h 后，断开电源测量热态电阻，最后根据冷热电阻绘制曲线得出温升限值。

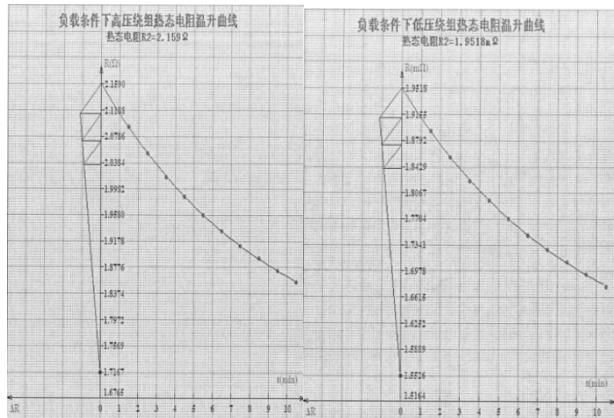
热电阻数值、温升曲线图如图一、二。

高、低压绕组电阻测量		
测量时间	热电阻 R (Ω)	热电阻 R (Ω)
1min30s	2.093	$1.892 \times 10^{-3}$
2min30s	2.053	$1.856 \times 10^{-3}$
3min30s	2.016	$1.823 \times 10^{-3}$
4min30s	1.986	$1.796 \times 10^{-3}$
5min30s	1.958	$1.770 \times 10^{-3}$
6min30s	1.933	$1.747 \times 10^{-3}$
7min30s	1.911	$1.728 \times 10^{-3}$
8min30s	1.892	$1.711 \times 10^{-3}$
9min30s	1.873	$1.694 \times 10^{-3}$
10min30s	1.855	$1.677 \times 10^{-3}$

高压绕组电阻值 (Ω)	热态电阻	冷态电阻
1.951 × 10 <sup>-3</sup>	2.159	1.814
1.951 × 10 <sup>-3</sup>	1.602 × 10 <sup>-3</sup>	45.2
高压绕组平均温升 < 60K		
低压绕组平均温升 < 60K		52.0

图一 热态电阻



图二 温升曲线

经过试验数据及曲线分析，采用此方法的变压器温

升满足限制要求，整个过程清晰简便能够满足试验要求。

#### 4 结束语

变压器在输电与配电线路中承担着电压、电流的转换，电力负荷的分配。变压器温升对变压器的绝缘、老化和安全有重要的指导意义，短路法对作为一种简便，试验电压低，操作方便，设备要求低，是常用的变压器试验方法。本文从标准温升试验方法短接法入手，对温升试验方法介绍，通过实际试验数据验证得出来采用短接法有试验数据准确稳定、设备要求低、经济效益高、试验周期短、试验难度低易操作、对电源要求低，接线形式简单等特点。

#### 参考文献

- [1] 沈阳变压器厂. 变压器试验 [M]. 北京：机械工业出版社，1987.
- [2] GB / T1094. 2—2013. 电力变压器第 2 部分：液浸式变压器的温升 [S]. 2013.
- [3] JB / T501—2020. 电力变压器试验导则 [S]. 2020.
- [4] 王秀春，徐国梁，彭桂先，GB1094. 2—1996 中三种电源切断瞬间绕组温升的外推法比较 [J]. 变压器 1998. 35 (7) : 16—20.

作者简介：王文浩，1992.5.1，男，汉族，甘肃甘谷县，本科，助理工程师，主要从事高压电器产品试验技术的研究及检测方面的工作。