

团 体 标 准

T/GDCKCJH 055—2022

配电变压器现场温升试验导则

Guide for on-site temperature rise test of distribution transformer

2022-01-17 发布

2022-09-01 实施

目 次

前言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 要求.....	3
5 试验方法.....	5
附录 A (规范性) 现场温升试验的安全要求.....	14
附录 B (资料性) 温升试验前的空载试验.....	17
附录 C (资料性) 温升试验前的负载试验.....	21

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由广东省测量控制技术与装备应用促进会提出并归口。

本文件起草单位：深圳供电局有限公司、清华大学、广州广高高压电器有限公司、智检科技(广州)有限公司、广东电网有限责任公司、国家智能电网输配电设备质量监督检验中心(广东)、红光电气集团有限公司、云松电力技术有限公司、俊郎电气有限公司、宁波奥克斯高科技有限公司、云南通变电器有限公司、广东科源电气股份有限公司、广州银变电力设备有限公司、中国电力科学研究院有限公司、昇辉控股有限公司、内蒙古电力(集团)有限责任公司内蒙古超高压供电分公司、南方海上风电联合开发有限公司、深圳市科陆电子科技股份有限公司、北京辰安科技股份有限公司、国网重庆市电力公司电力科学研究院、南方电网科学研究院有限责任公司、南方电网生产技术部、广州供电局电力试验研究院、云南电网有限责任公司电力科学研究院、国际铜业协会(中国)、国网河南省电力公司电力科学研究院、机械工业北京电工技术经济研究所、广东明阳电气股份有限公司、海鸿电气有限公司、深圳华工能源技术有限公司、华南理工大学、明珠电气股份有限公司、国网重庆市电力公司电力科学研究院、特变电工衡阳变压器有限公司、广州西门子变压器有限公司、海南威特电气集团有限公司、广东工业大学、中山 ABB 变压器有限公司、广东机电职业技术学院、广州铁路职业技术学院、顺特电气设备有限公司、西安交通大学、东南大学、广东产品质量监督检验研究院、深圳市科瑞杰科技有限公司、广安电气检测中心(广东)有限公司。

本文件主要起草人：廖姗姗、何东升、罗海凹、苗本健、刘顺桂、覃凯宁、罗致远、谢阳阳、郭祝平、苏红元、刘凯、林瑶、汪霞、王少民、李志雄、吴小莉、徐罗剑、冯民权、姚云涛、邱国兴、吴贵和、杜砚、李昭强、李小伟、罗小华、岳永刚、王中权、周新华、旷文敏、李永福、孟宪、汪进锋、江丹宇、魏存良、罗威、刘振国、周原、邹林、陈晓国、阳浩、罗俊平、方健、尹旷、王科、张凌宇、王伟、马红、郭献清、贺银涛、胡智雄、赖美云、翟丽珍、梁庆宁、杨苹、梁梅、唐金权、张伟涛、唐国辉、张春喜、朱燕春、陈思哲、许方园、范竞敏、李兵、唐拥林、欧志平、邱晓欢、肖明、梁健枢、刘凌、王逸飞、朱天重、张建潮、张少剑、蒋海、唐莉莉、翟子豪、邱思颖、谢李珍、蒋亚辉、廖惜武、丁晓军、陈滔。

本文件为首次发布。

配电变压器现场温升试验导则

1 范围

本文件规定了配电变压器现场温升试验的术语和定义、要求、试验方法。

本文件适用于 10 kV 级、无励磁调压、额定容量 30 kVA~1600 kVA 的液浸式配电变压器和干式配电变压器现场温升试验。其他类型或容量的变压器或专用变压器可参考使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

- GB/T 1094.1 电力变压器 第 1 部分：总则
- GB/T 1094.2 电力变压器 第 2 部分：液浸式变压器的温升
- GB/T 1094.11 电力变压器 第 11 部分：干式变压器
- GB/T 2900.95 电工术语 变压器、调压器和电抗器
- GB/T 16927.3 高电压试验技术 第 3 部分：现场试验的定义及要求
- GB 26859 电力安全工作规程 电力线路部分
- GB 26860 电力安全工作规程 发电厂和变电站电气部分
- JB/T 501-2006 电力变压器试验导则

3 术语和定义

GB/T 1094.1、GB/T 1094.2、GB/T 2900.95 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

现场试验 on-site test

在待试电器、设备和设施存放或安装使用地点进行的试验。

[来源：GB/T 16927.3-2010，3.1，有修改]

3.2

液浸式变压器 liquid-immersed type transformer

铁心和绕组都浸入液体中的变压器。

[来源：GB/T 1094.1-2013，3.1.4]

3.3

干式变压器 dry-type transformer

铁心和绕组均不浸于绝缘液体中的变压器。

[来源: GB/T 1094.11-2007, 3.1]

3.4

外部冷却介质 external cooling medium

变压器循环冷却系统外部的带走变压器损耗产生热量的介质(空气或水)。

[来源: GB/T 1094.2-2013, 3.1, 有修改]

3.5

内部冷却介质 internal cooling medium

液浸式变压器中与变压器绕组或其他部件接触的液体, 通过它们将损耗产生的热量传给中间或者外部冷却介质。

注: 液体可以是矿物油或其他天然及合成液体。

[来源: GB/T 1094.2-2013, 3.2, 有修改]

3.6

温升 temperature rise

所考虑部件(部件)的温度(例如: 绕组平均温度)与外部冷却介质的温度之差。

[来源: GB/T 1094.2-2013, 3.3]

3.7

顶层液体温度 top-liquid temperature

液浸式变压器油箱顶部(冷却回路顶部)的绝缘液体温度。

[来源: GB/T 1094.2-2013, 3.4, 有修改]

3.8

顶层液体温升 top-liquid temperture rise

液浸式变压器顶层液体温度与外部冷却介质温度之差。

[来源: GB/T 1094.2-2013, 3.5, 有修改]

3.9

液体平均温度 average liquid temperature

液浸式变压器顶层液体温度与底部液体温度的平均值。

[来源: GB/T 1094.2-2013, 3.6, 有修改]

3.10

液体平均温升 average liquid temperature rise

液浸式变压器液体平均温度与外部冷却介质温度之差。

[来源: GB/T 1094.2-2013, 3.8, 有修改]

3.11

绕组平均温度 average winding temperature

在温升试验后期通过测量绕组直流电阻确定的温度值。

[来源：GB/T 1094.2-2013，3.10]

3.12

绕组平均温升 average winding temperature rise

绕组平均温度与外部冷却介质温度之差。

[来源：GB/T 1094.2-2013，3.11]

3.13

绕组平均温度梯度 average winding gradient

液浸式变压器绕组平均温度与绝缘液体平均温度之差。

[来源：GB/T 1094.2-2013，3.12，有修改]

4 要求

4.1 试验适用范围

试验适用范围如下：

- a) 变压器质量监督约定的现场抽检试验；
- b) 解体运输式变压器现场组装后的试验；
- c) 怀疑变压器存在容量虚假和缺陷时的现场评估或诊断性试验；
- d) 变压器现场修复后的试验；
- e) 变压器运维方认为其他的有必要进行现场温升试验的情况。

4.2 试验条件

现场温升试验宜在绝缘电阻、绕组直流电阻、电压比、绝缘油(液)试验(仅适用油变)、空载试验、负载试验等试验进行后，经评估进行。

试验前准备应按 GB 26860 的规定及附录 A 的要求进行。

现场温升试验前的空载试验见附录 B，现场温升试验前的负载试验见附录 C。

4.3 试验环境温度

进行现场温升试验，试验场地的冷却空气温度宜介于 5℃与变压器设计所依据的最高环境温度之间。当温度不在此温度范围内时，对试验结果的解释应得到制造方与用户的认可。

变压器宜放置在适当的位置，以减少空气阻力，有利于热空气的再循环，提供稳定的环境条件。

应至少采用 4 个温度传感器，并取其读数的平均值来确定环境温度。温度传感器应沿变压器四周分布，距油箱或冷却表面约 2 m 的距离，避免直接受热辐射的影响。温度传感器或温度计应插入油量不少于 1000 ml 的悬空金属油杯中，其时间常数应为 2 h 左右，温度传感器或温度计准确度应

不大于 0.5℃。

对自冷变压器，温度传感器应放置在距冷却表面高度约一半的位置处；对于强迫风冷变压器，温度传感器应放置在距冷却器进风口约 0.5 m 的位置。

现场温升试验宜采用适当的措施，使冷却空气温度变化不宜超过 5℃/h，特别是在试验后期接近稳定状态时；宜采取适当的措施，防止由空气湍流而引起剧烈的温度变化，确保距离变压器 1 m 处周围空气速度≤0.5 m/s。可采取的措施包括：为温度传感器配备时间常数与变压器时间常数近似的适当的吸热容器；采用空调、排风扇等控温设备或帐篷顶部外侧喷雾方式进行降温，保持试验现场环境温度不大幅波动，同时控温设备的冷却空气应避免直吹变压器。

如果因试验现场不利的空间限制和环境条件而不可能达到温度变化率的要求时，可以用在相同条件下但不通过电流的一台相同的变压器的温度来代替周围空气温度(这台另加的变压器不应该受到过分的热量)。

每隔一定时间(例如：每 10 min)应记录环境温度读数，推荐采用自动连续记录装置。

4.4 测量系统要求

4.4.1 测量系统主要包括互感器、电压表、电流表、功率测量仪、直流电阻测试仪、温度测试仪等仪器仪表。仪器仪表应当经过国家计量认证机构检验合格,并在规定的有效期内使用。

4.4.2 仪器仪表要求如下：

- a) 互感器准确度等级：0.2 级；
- b) 电压表、电流表准确度等级：0.2 级；
- c) 功率测量仪准确度等级：0.2 级；
- d) 直流电阻测试仪准确度等级：0.2 级；
- e) 温度测试仪 MPE：±0.5℃。

4.4.3 若现场无满足准确度要求的测量系统，宜采用满足准确度要求的便携式多功能集成测量装置，至少应具备远程监控现场、远程切断电源、实时采集电压、电流、功率和温度等参数的功能，并满足现场温升试验的安全要求。

4.5 试验电源要求

4.5.1 试验电源应满足以下要求：

- a) 试验用调压电源宜采用感应调压器或大功率变频调压电源；
- b) 调压电源的容量应足够大，电源阻抗应足够小。若调压电源为感应调压器，短路阻抗不宜大于 5%。调压电源装置容量 S 不宜小于被试变压器空载损耗的 10 倍，可按式(1)进行估算：

$$S = 0.1 \times S_r \times I_0 \dots\dots\dots(1)$$

式中：

S_r ——被试变压器额定容量，kVA；

I_0 ——空载电流百分数，%。

4.5.2 当调压电源容量不足时，应在调压电源输出侧采用电容补偿装置补偿试验电流，补偿后的试验电流应满足 5.1.2 和 5.2.2 的要求。

4.5.3 试验电源输出三相电压时，电压不平衡度不宜超过 2%，不应超过 5%。

4.5.4 试验电源频率应与变压器额定频率一致，频率偏差不应大于额定值的 0.5%；试验电源电压波形中的谐波含量不应大于 5%，由式(2)确定的电压波形校正因数 d 应在 $\pm 3\%$ 范围内：

$$d = (U' - U) / U' \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

U ——方均根值电压，kV；

U' ——平均值电压，kV。

5 试验方法

5.1 液浸式配电变压器

5.1.1 概述

液浸式配电变压器现场温升试验宜采用短路试验法。

短路试验法的测定目标包括：

- 测定在稳态条件及总损耗下的顶层液体温升和液体平均温升；
- 测定在额定电流及按上述测定的液体平均温升下的绕组平均温升。

5.1.2 短路试验法

试验时首先施加变压器总损耗值对应的电流。总损耗的值可由已测出的空载损耗和参考温度下的负载损耗之和得到(见 GB/T 1094.2)。试验分两个阶段进行：

a) 第一阶段，施加总损耗：

——当施加对应于变压器最大总损耗的试验电流时，可以测定顶层液体温升和液体平均温升。由于试验电流大，因而绕组温升将相应地增高；

——试验中，如果不能施加规定的总损耗或电流时，施加的总损耗与规定的总损耗之差应在 $\pm 20\%$ 之内；施加的电流与规定的电流之差应在 $\pm 10\%$ 之内。通过协商，也可扩大修正的适用范围。但施加的总损耗不应低于规定的总损耗的 70%，施加的电流不应低于规定的电流的 85%；

——试验中，应持续监测顶层液体和冷却介质的温度，直到液体的温升稳定为止；

——当顶层液体温升的变化率小于 1 K/h，并至少维持 3 h 时，本试验阶段可以结束。如果每隔一定时间记录离散的温度值，则取最后 1 h 内读数的平均值作为试验结果；若使用自动连续记录装置，则取最后 1 h 内的平均值。

b) 第二阶段，施加额定电流：

- 顶层液体温升测定后，应立即将试验电流降至额定电流继续试验。持续 1 h，在此期间应至少每间隔 5 min 记录一次顶层液体和外部冷却介质温度，并连续记录；
- 施加额定电流 1 h 结束时，应迅速切断电源和打开短路接线，同时测量并记录高低压绕组的直流电阻。对于三相变压器，其电阻测量应在中间相与一个边相绕组的线端之间进行；
- 根据绕组电阻值变化，并考虑电流降到额定电流时液体温度的降低以及外部冷却介质温度的变化来确定变压器两绕组的平均温度；
- 为了缩短温升试验的时程，施加总损耗阶段开始时可以采取提高输入功率或恶化冷却条件的办法，使温度迅速升高。当监视部位的温升提高到 70% 的预计温升时，应立即恢复额定发热与冷却状态。

5.1.3 液体温度的测定

液体温度为施加总损耗试验阶段最后 1 h 读数的平均值。顶层液体温度 θ_o ，通常用一个浸入油箱内顶层液体中的温度传感器或箱盖上的传感器座中的温度传感器测定。液体平均温度原则上是绕组内的冷却液体的平均温度。液体平均温度 θ_{om} 用于计算绕组平均温度梯度及某个温升试验结果的修正。对于 1600 kVA 及以下具有平滑箱壁、波纹箱壁或散热管直接焊到箱壁上的液浸自冷式 (ONAN) 变压器，其高于环境温度的液体平均温升可取顶层液体温升的 80%。即液体平均温度为：

$$\theta_{om} = 0.8\Delta\theta_o + \theta_a \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

θ_{om} ——液体平均温度；

$\Delta\theta_o$ ——顶层液体温升；

θ_o ——顶层液体温度；

θ_a ——外部冷却介质温度。

5.1.4 顶层液体温升和液体平均温升的确定

顶层液体温升 ($\Delta\theta_o$) 应由两个温度之差决定，一个是在施加总损耗的试验阶段结束时测得的顶层液体温度 (θ_o)，一个是在施加总损耗的试验阶段结束时的外部冷却介质温度 (θ_a)，即：

$$\Delta\theta_o = \theta_o - \theta_a \quad \dots\dots\dots (4)$$

液体平均温升($\Delta\theta_{om}$)应由按式(3)计算的液体平均温度(θ_{om})和外部冷却介质温度(θ_a)之差确定,即:

$$\Delta\theta_{om} = \theta_{om} - \theta_a = 0.8\Delta\theta_o \quad \dots\dots\dots (5)$$

试验中,如果不能施加规定的总损耗时,则其液体温升应按下列规定进行修正。修正的有效范围是:施加的总损耗与规定的总损耗之差在 $\pm 20\%$ 之内。通过协商,也可扩大修正的适用范围。但施加的总损耗不应低于规定的总损耗的70%。即修正到规定总损耗的顶层液体温升为:

$$\Delta\theta_o' = \Delta\theta_o \times \left[\frac{P}{P_t} \right]^x \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

P ——规定总损耗;

P_t ——试验施加损耗;

x ——对于液浸式配电变压器(冷却方式标志为ONAN), $x = 0.8$ 。

5.1.5 电源断开瞬间绕组平均温升的确定

绕组平均温度是通过测量绕组电阻确定的。对于三相变压器,其电阻测量通常应包含中间相绕组。变压器应在稳定的环境温度下,进行参考量(R_1, θ_1)的测量(见 GB/T 1094.1)。

断开电源后,测得电阻为 R_2 ,外推到断开电源瞬间(见 5.1.6),则可得到温度 θ_2 值为:

$$\theta_2 = \frac{R_2}{R_1}(235 + \theta_1) - 235 \quad (\text{对于铜}) \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$\theta_2 = \frac{R_2}{R_1}(225 + \theta_1) - 225 \quad (\text{对于铝}) \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中:

θ_2 ——电源断开瞬间的绕组平均温度。

公式中,温度的单位为 $^{\circ}\text{C}$ 。

在施加额定电流的1 h结束时刻,液体平均温度已从总损耗下的温度下降,故绕组平均温度值应加上液体平均温度的下降值。

修正的绕组平均温升为:

$$\Delta\theta_w = \theta_2 + \Delta\theta_{ofm} - \theta_a \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中:

θ_2 ——电源断开瞬间的绕组平均温度;

$\Delta\theta_{ofm}$ ——在额定电流下 1 h 试验期间的液体平均温度的降低值；

θ_a ——施加总损耗试验结束时的外部冷却介质温度。

试验中，如果不能施加规定的电流时，则其高于液体平均温度的绕组平均温升应按下列规定进行修正。修正的有效范围是：施加的电流与规定的电流之差在士 10%之内。通过协商，也可扩大修正的适用范围。但施加的电流不应低于规定的电流的 85%。

电流修正后的绕组平均温升为：

$$\Delta\theta_w' = (\theta_2 + \Delta\theta_{ofm} - \theta_{om}) \times \left[\frac{I}{I_t} \right]^y - \theta_a \dots\dots\dots (10)$$

式中：

y ——对于液浸式配电变压器(冷却方式标志为 ONAN)， $y = 1.6$ 。

5.1.6 电源断开瞬间的绕组电阻测定

在切断电源和断开短路接线后，应立即将待测电阻的绕组两端接入直流电源测量电路。

测量时间应足够长，以便允许用外推法推算出电源切断瞬间的绕组温度。尽可能减少断开试验线路与接通电阻测量电路的时间，及合理选择电路参数以减少电气时间常数的方式来减少延迟时间。

电阻测定时，冷却设备最好保持不变。如果升温时泵在运行，则在电阻测量时泵也宜保持运行。

推荐的详细测量方法见 GB/T 1094.2-2013 附录 B。

5.2 干式配电变压器

5.2.1 概述

干式配电变压器现场温升试验宜采用模拟负载法。

5.2.2 模拟负载法

干式变压器的温升值是通过短路试验(提供负载损耗)和空载试验(提供空载损耗)的组合来确定的。温升试验程序应采用下述二种方法之一：

——先进行绕组短路试验，直到铁心和绕组温度达到稳定为止，然后进行空载试验，直到铁心和绕组温度达到稳定为止；

——先进行空载试验，直到铁心和绕组温度达到稳定为止，然后进行绕组短路试验，直到铁心和绕组温度达到稳定为止。

试验开始前，变压器的温度应与现场的环境温度一样稳定。应测量并记录高、低压绕组各自的电阻值和现场的环境温度，这些测量值将作为计算这两个绕组温升值的基准值。

对于三相变压器，其电阻测量应在中间相与一个边相绕组的线端之间进行。

各温度测量点(即:测环境温度的温度计和变压器上的传感器(如果有))的位置在试验前后均应相同。

短路试验应将一个绕组短路,并在另一个绕组通额定电流,持续到绕组和铁心温度都达到稳态时为止。如果不能施加额定电流时,绕组电流应达到90%及以上额定电流。当温升值趋于稳定,即每小时的温升变化值不超过1K时,则认为温升已达到最终值。为了确定已达到稳定温升时的条件,应将热电偶或温度计置于上铁轭中心处且尽可能紧靠最内部的低压绕组顶部处的导线的表面处,对于三相变压器,此测量应在中间的心柱上进行。

用电阻法或叠加法确定各绕组的温升 $\Delta\theta_c$ 。

在额定频率和额定电压下的空载试验,应持续到绕组和铁心温度都达到稳态时为止,然后应测出各自绕组的温升 $\Delta\theta_e$ 。

在绕组通过额定电流和铁心为额定励磁下,每个绕组的总温升 $\Delta\theta_c'$ 用式(11)来计算:

$$\Delta\theta_c' = \Delta\theta_c \left[1 + \left(\frac{\Delta\theta_e}{\Delta\theta_c} \right)^{1/K_1} \right]^{K_1} \dots\dots\dots (11)$$

式中:

$\Delta\theta_c'$ ——绕组总温升;

$\Delta\theta_c$ ——短路试验下的绕组温升;

$\Delta\theta_e$ ——空载试验下的绕组温升;

K_1 ——对于自冷式为0.8;对于风冷式为0.9。

5.2.3 绕组温度的测量

绕组温度的测量如下:

- a) 为了使冷、热电阻的测量误差减小到最低,应记录冷电阻测量时的测试仪器、试验电流;
- b) 热电阻的测量宜与冷电阻测量时的连线、测试仪器及电流等相同;切断试验电源时应尽量减少对冷却条件的干扰,并以最快的速度打开短路连接线,接通电源测量热电阻;
- c) 绕组平均温度的测定:

——绕组平均温度是通过绕组电阻确定的。温度 θ_2 下的电阻 R_2 与 θ_1 下的电阻 R_1 之间的比值为:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{235 + \theta_2}{235 + \theta_1} \text{ (对于铜)} \dots\dots\dots (12)$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{225 + \theta_2}{225 + \theta_1} \text{ (对于铝)} \quad \dots\dots\dots (13)$$

——变压器应在稳定的环境温度下进行绕组电阻 (R_1, θ_1) 的测量。在另一温度 θ_2 时测出的电阻为 R_2 ，则可得到温度值为：

$$\theta_2 = \frac{R_2}{R_1}(235 + \theta_1) - 235 \text{ (对于铜)} \quad \dots\dots\dots (14)$$

$$\theta_2 = \frac{R_2}{R_1}(225 + \theta_1) - 225 \text{ (对于铝)} \quad \dots\dots\dots (15)$$

——令切断电源时，外部冷却介质的温度为 θ_a ，则绕组温升为：

$$\Delta\theta_w = \theta_2 - \theta_a \quad \dots\dots\dots (16)$$

——绕组电阻是在切断电源并去掉短路接线后进行测量，电源切断瞬间的电阻 R_2 按式 (14) 或 (15) 确定。

- d) 电源切断瞬间的绕组温度的确定：温升试验要求准确测定电源切断瞬间的绕组平均温度，其标准方法为：在切断电源和打开短路接线后，立即将要测的绕组接入直流测量电路，由于绕组的电气时间常数 (L/R) 较大，因而只有经过一段时延后，才能测得准确的电阻值。绕组在切断电源后开始冷却，绕组电阻随冷却时间变化，故应测量至少 10 min，以便允许用外推法推算电源切断瞬间的绕组温度，见图 1。

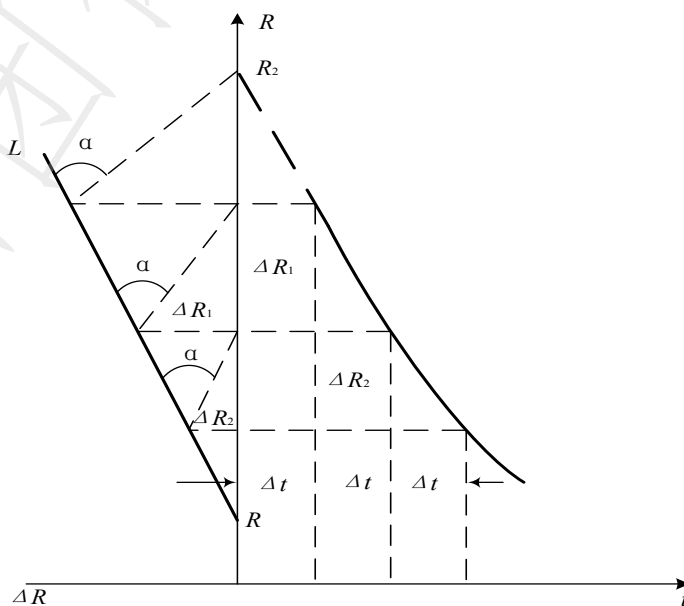


图 1 确定切断电源瞬间热电阻温度的方法

5.2.4 变压器温升计算

变压器温升计算如下：

- a) 当变压器分别进行短路温升试验和空载温升试验后，二种情况下的绕组温升都按式(16)计算；
- b) 当变压器进行短路温升试验，绕组电流达到 90%及以上额定电流时，温升计算应按式(17)进行修正：

$$\Delta\theta = \Delta\theta_t \left(\frac{I_r}{I_t}\right)^q \dots\dots\dots (17)$$

式中：

$\Delta\theta_t$ ——负载电流为 I_t 时绕组对空气的温升，K；

I_r ——额定电流，A；

I_t ——试验电流，A；

q ——空气自冷(AN)为 1.6，风冷(AF)为 1.8。

5.3 温升试验结果判定

5.3.1 温升限值

液浸式配电变压器的温升限值是依据绝缘组合(包括绝缘液体和绝缘材料)中最低的绝缘耐热等级而定，下面给出液浸式配电变压器的温升限值表和特殊运行条件下推荐的温升限值修正值表，如表 1 和表 2 所示。

表 1 液浸式配电变压器温升限值

要求	温升限值 K		
	绝缘组合耐热等级		
	105 (A)	120 (E)	130 (B)
顶层绝缘液体	60	60	85
绕组平均(用电阻法测量)： ——ON 及 OF 冷却方式	65	75	85
注 1：105 级(A)绝缘组合中绝缘液体包括矿物油和天然酯绝缘油，绝缘固体为 105 级(A)绝缘材料。			
注 2：120 级(E)绝缘组合中绝缘液体为天然酯绝缘油，绝缘固体为 120 级(E)绝缘材料。			
注 3：130 级(B)绝缘组合中绝缘液体为天然酯绝缘油，绝缘固体为 130 级(B)绝缘材料。			

表 2 特殊运行条件下推荐的温升限值修正值

环境温度 ℃			温升限值修正值 K ^a
年平均	月平均	最高	
15	25	35	+5
20	30	40	0
25	35	45	-5
30	40	50	-10
35	45	55	-15

注 1：对于环境温度低于表 2 的情况没有给定规定。如用户无另行规定，则表 1 的温升限值适用。

注 2：表 2 所列值可以用插值法求得。

^a相对于表 1 的值

如果液浸式配电变压器安装场所的海拔高于 1000 m，而试验场所的海拔低于 1000 m 时，则试验时允许的温升限值应该在表 1 的基础上按如下的规定降低：

- a) 对于自冷式(冷却方式标志后两位字母为 AN)变压器，顶层液体温升、绕组平均温升限值应按安装场所的海拔高于 1000 m 的部分，每增加 400 m 时降低 1 K；
- b) 对于风冷式(冷却方式标志的后两位字母为 AF)变压器，则应按安装场所的海拔高于 1000 m 的部分，每增加 250 m 时降低 1 K。

如果试验场所的海拔高于 1000 m，而安装场所的海拔低于 1000 m 时，则应做相应的逆修正。对于干式配电变压器的温升限值，温升限值参见 GB/T 1094.11，绝缘等级和温升限值的关系如表 3 所示。

表 3 干式配电变压器温升限值

绝缘系统温度/℃	额定电流下的绕组平均温升限值/K
105(A)	60
120(E)	75
130(B)	80
155(F)	100
180(H)	125
200	135
220	150

当所设计的干式配电变压器是在海拔超过 1000 m 处运行，而其试验却是在正常海拔处进行时，

如果制造单位与用户间无另外协议，则表 3 中所给出的温升限值应根据运行地点的海拔超过 1000 m 的部分，以每 500 m 为一级，按下列数值相应降低：

——对于自冷式变压器：2.5%；

——对于风冷式变压器：5%。

如果变压器的试验是在海拔高于 1000 m 处进行，而安装现场的海拔却低于 1000 m 时，则温升限值要作相应的逆修正。经海拔修正后的温升限值，应修约到最接近的整数值(单位为 K)。

5.3.2 温升试验结果判定依据

温升试验的合格依据如下：

- a) 液浸式配电变压器的顶层液体温升和绕组温升应满足 5.3.1 规定的温升限值，特殊情况下应由制造方与用户协商解决；
- b) 干式配电变压器的绕组温升应满足 5.3.1 规定的温升限值，特殊情况下应由制造方与用户协商解决。

注：现场温升试验或因现场空间和天气环境等因素，温升试验结果值可能会存在 10%以内的小概率误差，当司法或仲裁时需谨慎使用，如需获得更精准的结果，建议在第三方实验室按照标准重复温升试验。

附录 A

(规范性)

现场温升试验的安全要求

A.1 概述

进行现场温升试验的变压器可能处于以下三种状态之一：未安装、已安装未投运、已投运。

对未安装的变压器进行现场温升试验前，应清理并布置试验现场。若在户外进行试验，宜搭建帐篷，具体布置可参考示意图 A.1 和 A.2。

对已安装未投运的变压器进行现场温升试验前，应勘察现场，遵守 GB 26859 和 GB 26860 的要求，与其他带电体保持足够的安全距离，若变压器安装在架空线路，应遵守高处作业的要求。

对已投运的变压器进行现场温升试验前，应勘察现场，遵守 GB 26859 和 GB 26860 的要求，执行工作票制度，对线路和部分配电设备停电后才可进行现场温升试验。

A.2 基本安全要求

A.2.1 试验人员要求

试验人员应具有变压器现场试验专业知识，熟悉试验设备和试品，熟悉本标准，并经培训考试合格后方能从事变压器现场温升试验工作。新参加试验的实习人员，应在有经验的试验人员监护下参加指定的试验工作，不宜担任工作负责人和监护人。外来的参加试验人员，应进行现场安全培训和技术交底。

A.2.2 试验环境要求

现场温升试验需要连续进行 8 h 以上，户外试验应查看天气预报，确保变压器现场温升试验在良好天气下进行。如遇雷电(听见雷声、看见闪电)、雪、雹、雨、雾等，不应进行。风力大于 5 级，或湿度大于 80%时，不宜进行变压器户外现场温升试验。户外试验突遇恶劣气象条件，应停止现场温升试验，采取合适的措施，确保试验人员、样品和仪器安全。

A.3 安全组织措施

变压器现场温升试验工作应遵守 GB 26860 的要求，宜执行工作票制度、工作许可制度、工作监护制度和现场终结制度。

变压器现场温升试验工作不得少于两人。试验负责人应由有经验的人员担任，开始试验前，试验负责人应向全体试验人员详细布置试验中的安全注意事项，交待邻近间隔的带电部位，以及其他安全注意事项。

A.4 安全技术措施

A.4.1 装设接地线

试验电源的金属外壳应可靠接地。测量仪器的接地端和试品接地端或外壳应良好接地，接地线应采用多股编织裸铜线或外覆透明绝缘层铜质软绞线或铜带，接地线截面应能满足试验要求，截面不得小于 15 mm^2 。

接地线与接地系统的连接应采用螺栓连接或专用的线夹固定的接地桩(带)上，禁止用缠绕的方法进行接地，接地线长度应尽可能短，且明显可见。不得将接地线接在水管、暖气片和低压电气回路的中性点上。

对于户外试验，无接地引下线的杆塔装设接地线时，可采用临时接地体。临时接地体的截面积不应小于 190 mm^2 。临时接地体埋深不应小于 0.6 m 。土壤电阻率较高的地方应采取措施改善接地电阻。

A.4.2 悬挂标示牌和装设遮拦

试验试区周围应设置遮拦，遮拦上悬挂适当数量的“止步，高压危险！”标示牌。遮拦出入口要围至临近道路旁边，并设有“从此进出！”的标示牌。标示牌的标示应朝向遮拦的外侧。

在显示屏上进行操作的断路器和隔离开关的操作处均应相应设置“禁止合闸，有人工作！”或“禁止合闸，线路有人工作！”以及“禁止分闸！”等标记。

在户外试验场进行试验时，除设置必要的遮拦、安全警示牌和安全信号灯外，应派专人监视，以防人员或动物闯入试区。

A.4.3 试前注意事项

试验前应估算试验时所需的电源容量，以确定电源线的截面。有条件时，应提前对试验现场进行勘察，测算试验电源至试验现场的距离，以选择长度适宜的电源线；对于过长的电源线，试验时不应缠绕在线轴上，以免电流较大引起局部过热而损失电源线绝缘。

对于已投运的变压器，为了防止电源侧隔离开关或接触器不慎突然来电等意外情况，在更换接线时应在试品上悬挂接地放电棒，以保证人身安全。温升试验前，先取下放电棒，防止带接地放电棒升压。

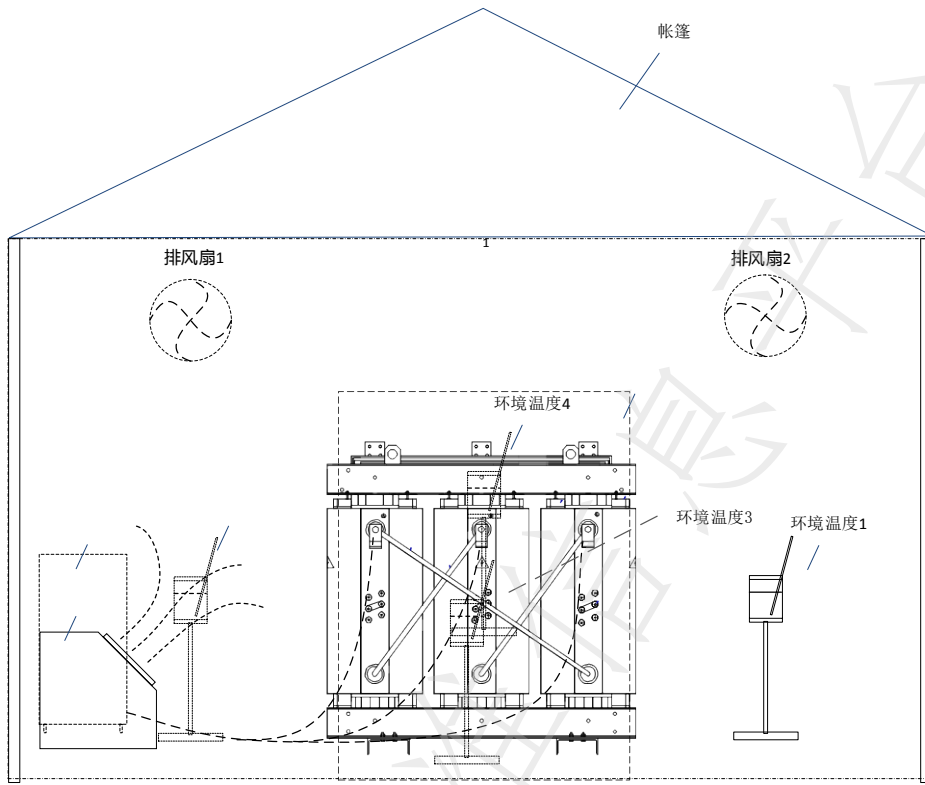


图 A.1 现场温升试验布置示意图正视图

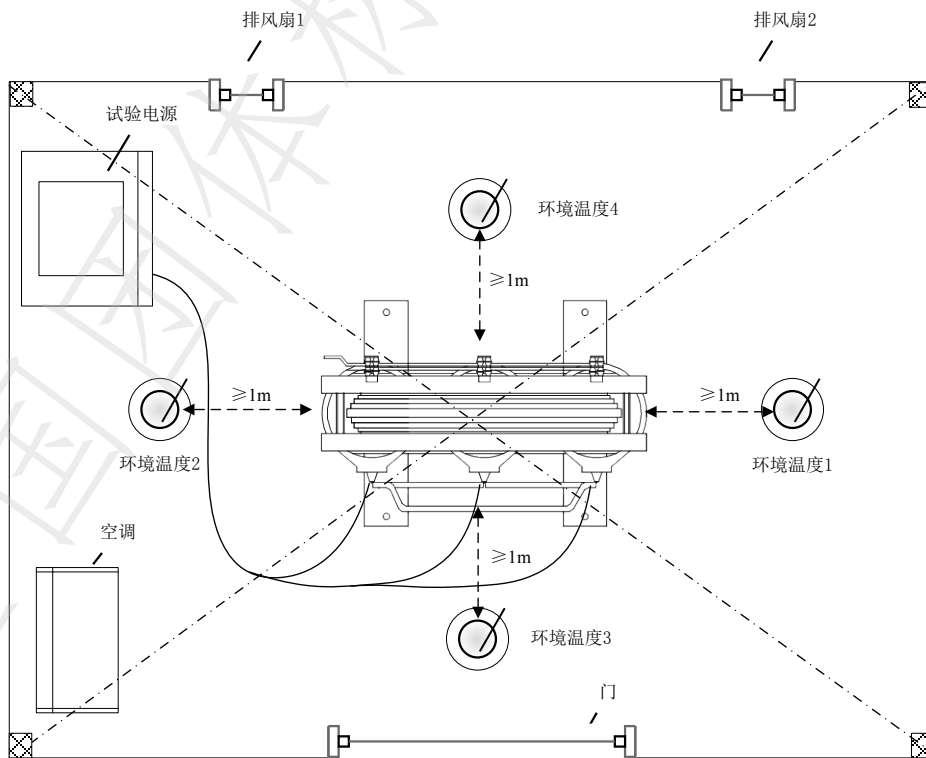


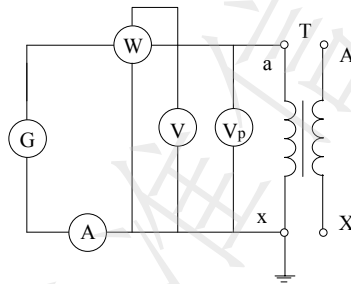
图 A.2 现场温升试验布置示意图俯视图

附录 B
(资料性)
温升试验前的空载试验

B.1 单相变压器

B.1.1 试验接线

试验时从被试变压器一侧绕组(通常选取低压绕组)线端施加额定频率的对称正弦波电压,其余绕组开路。对于低压绕组电压为 1000 V 以下的单相变压器,试验接线如图 B.1 所示;对于低压绕组电压为 1000 V 及以上的单相变压器,试验接线如图 B.2 所示。



标记说明(下同):

G —可调电源;

W —功率测量仪;

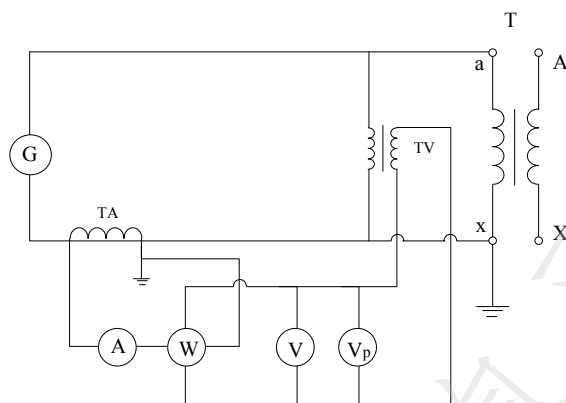
V —电压表;

V_p —平均值电压表;

A —电流表;

T —被试变压器。

图 B.1 单相变压器空载损耗及空载电流试验接线图(不使用互感器)



标记说明(下同):

TV —电压互感器;

TA —电流互感器。

图 B.2 单相变压器空载损耗及空载电流试验接线图(使用互感器)

B.1.2 试验要求

试验要求如下:

- 试验应在不大于规定试验电压的1/3电压下接通电源,并与测量配合迅速、平稳升高电压。分别在0.9倍试验电压和1.0倍试验电压下,待各项试验数据稳定后,测量并记录试验电压平均值、电压有效值、空载电流、空载损耗、谐波含量、铁心接地电流、夹件接地电流等数据。试验完毕后应将电压迅速降至试验电压的1/3以下,然后切断电源;
- 如有必要记录其他电压下的各项试验数据;
- 整个试验过程应持续监视试验电源电压、电流波形,在试验电压不大于 $1.0U_t$ 时,应保证电压波形中的谐波含量不大于5%,电压波形校正因数 d 在 $\pm 3\%$ 范围内;
- 当电压波形存在畸变,即平均值电压与方均根值电压不同时,试验电压应以平均值电压为准。

B.2 三相变压器

B.2.1 试验接线

试验时从被试变压器一侧绕组(通常选取低压绕组)线端施加额定频率的对称正弦波电压,其余绕组开路。从D或Y联结绕组励磁时,电压应在各相端子间测量;从yn或zn联结绕组励磁时,电压应在相和中性点端子间测量。试验接线如图B.3、图B.4所示。

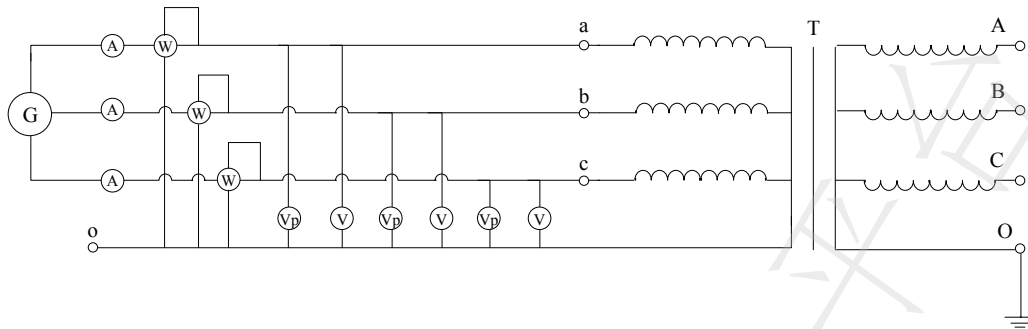


图 B.3 三相变压器空载损耗及空载电流试验接线图(yn 或 zn 联结绕组励磁, 不使用互感器)

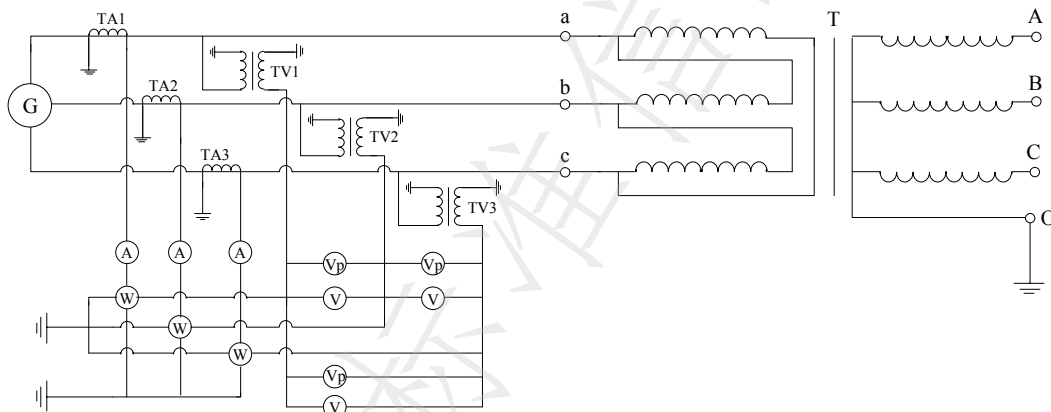


图 B.4 三相变压器空载损耗及空载电流试验接线图(D 或 Y 联结绕组励磁, 使用互感器)

B.2.2 试验要求

试验要求如下:

- 试验应在不大于规定试验电压的 $1/3$ 电压下接通电源, 并与测量配合迅速、平稳升高电压。分别在 0.9 倍试验电压和 1.0 倍试验电压下, 待各项试验数据稳定后, 测量并记录试验电压平均值、电压有效值、空载电流、空载损耗、谐波含量、铁心接地电流、夹件接地电流等数据。试验完毕后应将电压迅速降至试验电压的 $1/3$ 以下, 然后切断电源;
- 如有必要, 记录其他电压下的各项试验数据。整个试验过程应持续监视试验电源电压、电流波形, 在试验电压不大于 $1.0U_t$ 时, 应保证电压波形中的谐波含量不大于 5% , 电压波形校正因数 d 在 $\pm 3\%$ 范围内;
- 当电压波形存在畸变, 即平均值电压与方均根值电压不同时, 试验电压应以平均值电压为准;
- 试验过程中三相电压不平衡度小于等于 2% 时, 以三个线电压的平均值为准施加电压; 当三相电压不平衡度大于 2% 小于 5% 时, 分别以 a-b、b-c、c-a 为准施加电压, 试验数据取三次

试验的平均值；

- e) 空载电流是流经三相端子电流的算术平均值，当采用瓦特表测量损耗时，空载损耗是三瓦特表的代数和。

B.3 非额定工况校正

B.3.1 当电压波形校正因数 d 在 $\pm 3\%$ 范围内时，空载损耗应按式(B-1)进行校正：

$$P_0 = P_m(1+d) \quad \dots\dots\dots (B-1)$$

式中：

P_0 ——校正后的空载损耗，kW；

P_m ——实测空载损耗，kW。

B.3.2 当电压波形校正因数 d 超出 $\pm 3\%$ 范围时，应按照事先商定的协议确认试验的有效性。

B.3.3 空载损耗不做温度校正。

B.3.4 对于低电压(额定电压的5%-10%)空载试验所得到的数据，三相之间比较时不需要进行换算。

B.4 结果修正

B.4.1 空载试验时，仪表损耗和线路损耗会对结果造成影响，当其不能忽略时应从测量损耗中扣除。

B.4.2 仪表损耗包括电压表和功率测量仪器的电压线圈以及电压互感器等测量仪器仪表的损耗，仪表损耗可使用相同的试验线路，断开试品，施加试品额定电压，直接由功率测量仪器读取。

B.4.3 空载试验时，如测量电压取自试品，测量功率中没有线路损耗。如测量电压通过互感器取得，应扣除线路损耗，线路损耗可采用下列计算方法：

- a) 断开试品，将试验线路的端部短路，施加三相试验电流的平均值，从功率测量仪器读取；
- b) 试验电流的平方与三相试验线路的电阻进行乘积得出。

附录 C

(资料性)

温升试验前的负载试验

C.1 单相变压器

C.1.1 试验接线

试验时，将被试绕组中的低压绕组短路，从高压绕组施加额定频率的正弦波电流。负载试验的测量线路接线与空载试验相同，如图 C.1、图 C.2 所示。如采用功率分析仪等专用仪器，接线方法按照仪器说明书进行。测量中无须进行电压波形校正。

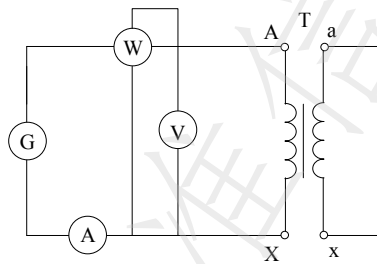


图 C.1 单相变压器短路阻抗和负载损耗试验接线图(不使用互感器)

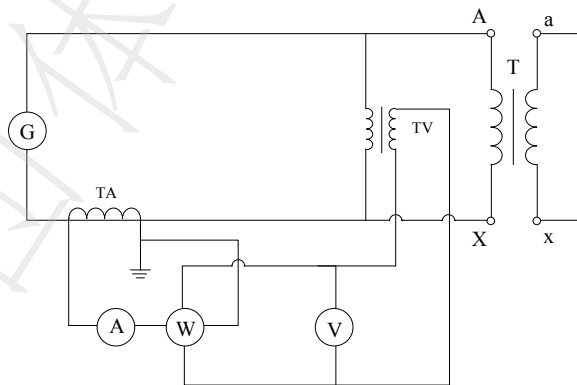


图 C.2 单相变压器短路阻抗和负载损耗试验接线图(使用互感器)

C.1.2 试验要求

从不超过 10%额定电流下尽可能迅速地升至额定电流，如受现场试验条件限制，则至少应升至 50%额定电流，分别记录电压有效值、负载电流、负载损耗、谐波含量、变压器液体温度、绕组温度等数据。试验完成后，应将电流迅速降到零。

不同容量的绕组间测量时，施加电流应以较小容量的额定电流为准。试验结果中，负载损耗应

注明容量，短路阻抗应折算到大容量一侧。

C.2 三相变压器

C.2.1 试验接线

试验时，一般将被试绕组中的低压绕组短路，从高压绕组施加额定频率的正弦波电流，非被试绕组开路。负载试验的测量接线与空载试验相同，如图 C.3 及图 C.4 所示。如采用功率分析仪等专用仪器，接线方法按照仪器说明书进行。测量中无须进行电压波形校正。

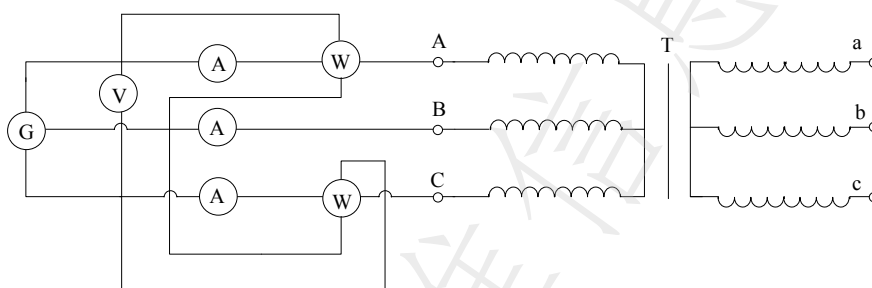


图 C.3 三相变压器短路阻抗和负载损耗试验接线图(不使用互感器)

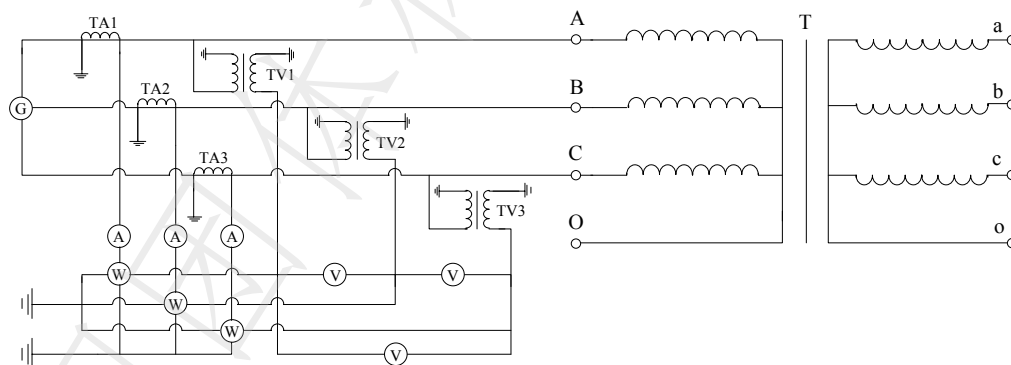


图 C.4 三相变压器短路阻抗和负载损耗试验接线图(使用互感器)

C.2.2 试验要求

从不超过 10%额定电流下尽可能迅速地升至额定电流，如受现场试验条件限制，则至少应升至 50%额定电流，分别记录试验电压有效值、负载电流、负载损耗、谐波含量、变压器液体温度、绕组温度等数据。试验完成后，应将电流迅速降到零。

短路阻抗测量时，应以三相电流的算术平均值为准，不同容量的绕组间测量时，施加电流应以较小容量的额定电流为准。试验结果中，负载损耗应注明容量，短路阻抗应折算到大容量一侧。

C.3 非额定工况校正

C.3.1 短路阻抗

当试验电流无法达到额定电流时，首先按式(C-1)计算电阻温度换算系数，再按式(C-2)、式(C-3)对短路阻抗进行折算并校正到 JB/T 501-2006 中表 10 所列的参考温度。

$$Z_{kt} = \frac{U_{kt}}{U_r} \times \frac{I_r}{I_k} \times 100 \quad \dots\dots\dots (C-1)$$

$$Z_k = \sqrt{Z_{kt}^2 + \left(\frac{P_{kt}}{10S_r}\right)^2 \times (K_t^2 - 1)} \quad \dots\dots\dots (C-2)$$

$$K_t = (T + \theta) / (T + t) \quad \dots\dots\dots (C-3)$$

式中：

Z_{kt} ——绕组温度为 $t^\circ\text{C}$ 时的短路阻抗，%；

U_{kt} ——绕组温度为 $t^\circ\text{C}$ 时通过电流 I_{kt} 时的短路电压，kV；

U_r ——施加电压侧的额定电压，kV；

I_r ——施加电压侧的额定电流，A；

I_k ——施加电压侧的实际电流，A；

Z_k ——参考温度时的短路阻抗，%；

P_{kt} —— $t^\circ\text{C}$ 时的负载损耗值，kW；

S_r ——额定容量，kVA；

K_t ——电阻温度换算系数；

T ——常数，铜为 235，铝为 225；

θ ——参考温度， $^\circ\text{C}$ ；

t ——绕组温度， $^\circ\text{C}$ 。

短路阻抗也可采用每相欧姆数表示，也应校正到参考温度，可按式(C-4)计算：

$$Z_i = \frac{Z_k U_r^2}{100 S_r} \quad \dots\dots\dots (C-4)$$

式中：

Z_i ——短路阻抗， Ω /相；

U_r ——施加电压侧的额定电压，kV；

S_r ——绕组的额定容量，kVA；

C.3.2 负载损耗

试验电流未达额定电流时，首先按式(C-5)将试验电流下的负载损耗 P_1 校正到额定电流工况下的负载损耗 P_2 。

$$P_2 = \left(\frac{I_r}{I_k} \right)^2 \times P_1 \dots\dots\dots (C-5)$$

式中：

I_r ——施加电压侧的额定电流，A；

I_k ——施加电压侧的实际电流，A。

环境温度下负载损耗换算到参考温度的方法见 GB 1094.1 附录 G。

C.3.3 结果修正

C.3.3.1 仪表损耗包括电压表和功率测量仪器的电压线圈以及电压互感器等测量仪器仪表的损耗，仪表损耗可使用相同的试验线路，断开试品，施加电压等于被试变压器达到额定短路电流时所加的电压，直接由功率测量仪读取。

C.3.3.2 线路损耗的数值可以从以下两种方法之一求得：

- a) 断开试品、将试验线路的端部短路，施加试验电流，从功率测量仪器读取；
- b) 用试验电流的平方与三相试验线路的电阻进行乘积得出。