

变压器温升试验方案及影响因素分析

谢超俊

上海纳杰电气成套有限公司 上海

【摘要】变压器作为电力系统中的重要设备，其安全性和稳定性对于保障电力供应的可靠性具有重要意义。温升是影响变压器寿命和稳定性的重要因素之一，为明确变压器壳体、内部结构、冷却介质对温升的影响，本次以油浸变压器为试验对象，通过对顶层油温以及高、电压绕组温升进行试验测量。结果表明，变压器位于变电箱壳体外部时，温升变化明显小于处于内部时的温升变化。由此可以确定，变电箱壳体对变压器散热有着直接影响，同时根据本次实验用变压器内部结构、冷却介质等，分析对温升的影响，并提出相关措施，以防止变压器温度升高。希望能够为降低变压器温升，提高使用效率与安全性提供一定借鉴。

【关键词】变压器；温升试验；影响因素

【收稿日期】2024年2月14日

【出刊日期】2024年4月23日

【DOI】10.12208/j.jeea.20240006

Test scheme of transformer temperature rise and analysis of influencing factors

Chaojun Xie

Shanghai Najie Electric Complete Set Co., LTD., Shanghai

【Abstract】 Transformer as an important equipment in power systems, its safety and stability are of great significance to ensure the reliability of power supply. Temperature rise is one of the important factors affecting the life and stability of the transformer. In order to clarify the influence of the transformer shell, internal structure and cooling medium on temperature rise, the oil-immersed transformer is taken as the test object, and the top oil temperature and the temperature rise of the high and voltage windings are tested and measured. The results show that when the transformer is located outside the shell of the transformer box, the temperature rise change is obviously smaller than that when the transformer is inside. It can be determined that the shell of the transformer box has a direct impact on the heat dissipation of the transformer. Based on the internal structure and cooling medium of the transformer used in this experiment, the impact on temperature rise is analyzed, and relevant measures are proposed to prevent the temperature rise of the transformer. It is hoped that it can provide some reference for reducing transformer temperature rise and improving efficiency and safety.

【Keywords】 Transformer; Temperature rise test; Influencing factor

引言

在电力系统中，变压器是关键的设备之一，负责电压的转换和传输。随着电网规模的扩大和用电负荷的增加，变压器承受的负荷也越来越重，其运行温度也随之升高。若变压器的温升过高，会导致绝缘材料老化、性能下降，甚至引发设备故障和事故^[1]。因此，对变压器温升进行监测和控制是必要的。然而，变压器的温升受到多种因素的影响，如散热性能、冷却介质、内部结构等。为了更好地理解和控

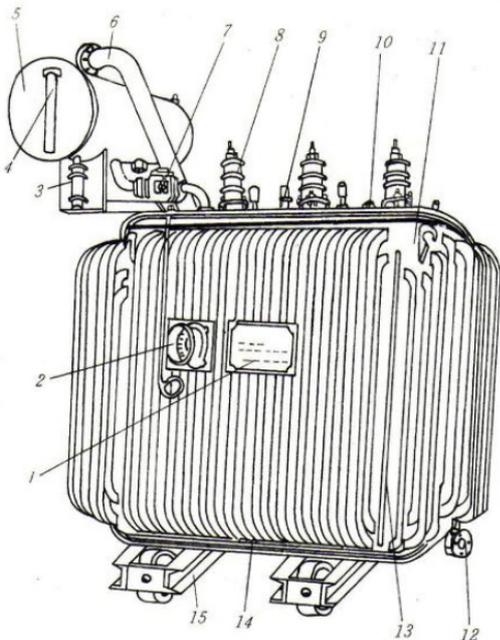
制变压器的温升，需要进行深入地研究和分析。

1 变压器发热工作原理

油浸式变压器主体结构包括绕组、铁芯、油以及结构件等（如图1所示）。油浸式变压器在工作过程中，绕组在电场与磁场的双重作用下，内部会产生涡流损耗，该损耗会以热能的形式向四周辐射，进而导致变压器整体发热，温度升高。

变压器的损耗可以分为空载损耗和负载损耗。空载损耗主要是由涡流损耗、磁滞损耗以及一些附

加损耗组成。而负载损耗则主要是由漏磁通和电阻损耗等附加损耗组成。除此之外，变压器在工作过程中还会产生附加损耗，附加损耗通常是由环流、涡流、结构件、引线等部分引起的^[2]。



1.铭牌；2.信号式温度计；3.吸湿器；4.油标；5.储油柜；6.安全气道
7.气体继电器；8.高压套管；9.低压套管；10.分接开关；11.油箱；12.
放油阀门；13.器身；14.接地板；15.小车

图1 油浸式变压器结构图

2 变压器温升试验方案

2.1 试验条件与方法

2.1.1 试验条件

试验用变压器需满足以下试验条件：①外壳完整，元件与实际情况一致；②门关闭，电缆接口按条件封闭；③匹配预装变电站额定容量；④同步进行

变压器、高低压连接线及低压设备温升试验；⑤室温 $<40^{\circ}\text{C}$ ，1小时内温变 $\leq 1\text{K}$ ，无明显空气流动（速度 $<0.5\text{m/s}$ ）；⑥空载 65W，负载（ 75°C ）1414W。

2.1.2 试验方法

试验采用短路法，变压器分接开关置于额定分接位置进行试验：

A.预装式变电站温升试验（变压器在外壳内部）：

①低压出口短接，高压回路施加总损耗电流。②监测顶层油、高低压连接线温升至稳定；③测量顶层油温升及连接部位温升④降高压回路电流至额定值，1小时后测顶层油温升；⑤断电、拆线，迅速测高、低压绕组电阻值。

B.预装式变电站温升试验（变压器在外壳外部，即变压器室门完全打开）：

①低压出口短接，高压回路施加总损耗电流。②监测顶层油温升至稳定，测量温升；③降电流至额定值，1小时后复测顶层油温升；④断电、拆线，测高、低压绕组电阻。

试验过程中需要对变压器顶层油温、变压器油平均温升以及绕组温升进行监测，三者均为变压器温升的重要指标，通过三者的数据分析，能够直观地明确变压器温升变化规律。

2.2 试验结果

2.2.1 顶层油温试验结果

变压器顶层油温升高反映与环境温度的差值，可直观展示温升情况。运行中，因线圈和铁芯发热使油温上升，而绝缘油起冷却和绝缘作用。过高的顶层油温可能导致内部过热，影响效率和寿命。为探究温升因素，使用压力式温度计在变压器顶部或油箱壁测量油温。本次实验测得数据如下：

表1 变压器顶层油温试验数据汇总

测量数据见温升试验原始记录（变压器在外壳内部）					
时间	17: 00	18: 00	19: 00	20: 00	21: 00
环境温度 $^{\circ}\text{C}$ （平均值）	8.6	8.6	8.3	8.2	8.2
顶层油 $^{\circ}\text{C}$	36.1	37.0	37.9	38.7	39.0
测量数据见温升试验原始记录（变压器在外壳外部）					
时间	13: 35	14: 35	15: 35	16: 35	17: 35
环境温度 $^{\circ}\text{C}$ （平均值）	10.2	10.6	10.6	10.6	9.8
顶层油	30.4	31.3	32.2	32.9	33.6

2.2.2 变压器绕组平均温度测量结果

绕组是变压器的关键部分，负责电能传输。绕组温升过高会导致绝缘层老化，缩短变压器寿命，并可能引发故障。本试验采用测量直流电阻法评估绕组平均温度。过程中记录高、低压绕组直流电阻，并连续监测 10 分钟以减小误差。通过数据分析，评估绕组温升情况。将测量结果利用下列公式计算温度与平均升温：

$$\theta_2 = (235 + \theta_1) R_2 / R_1 - 235 \quad (1)$$

式中， θ_2 —电源断开瞬间的绕组平均温度； θ_1 —测量电阻 R_1 时的周围介质温度；

R_1 —冷却状态下，温度为 θ_1 时绕组的电阻； R_2 —电源断开瞬间的绕组热电阻。

$$\Delta \theta_w = \theta_2 + \Delta \theta_{ofm} - \theta_a \quad (2)$$

式中， $\Delta \theta_w$ —修正的绕组平均温升； θ_a —施加总损耗试验结束时的外部冷却介质温度； $\Delta \theta_{ofm}$ —在额定电流下 1h 试验期间的液体平均温度的降低值。经计算，最终结果汇总如下：

表 2 绕组平均温度测量结果汇总

实测数据 (Ω) (变压器在外壳外部)					
被测绕组	实测数据		计算温度 θ_2 (°C)	平均温升 $\Delta \theta_w$ (K)	温升限值 (K)
	R_1 (Ω)	θ_1 (°C)			
高压绕组	10.61	7.5	58.01	47.65	65
低压绕组	17.96×10^{-3}	7.5	60.43	50.07	65
实测数据 (Ω) (变压器在外壳内部)					
被测绕组	实测数据		计算温度 θ_2 (°C)	平均温升 $\Delta \theta_w$ (K)	温升限值 (K)
	R_1 (Ω)	θ_1 (°C)			
高压绕组	10.61	7.5	60.98	52.54	65
低压绕组	17.96×10^{-3}	7.5	63.53	55.09	65

3 变压器温升影响因素分析

3.1 散热性能

根据试验数据，变压器位于外壳内时，尽管环境温度从 8.6°C 降至 8.2°C，顶层油温仍在 36.1°C 至 39.0°C 之间，散热受限导致内部温升较高。相反，当变压器暴露在外时，尽管环境温度上升，顶层油温变化范围较小，在 30.4°C 至 33.6°C 间，说明与外部空气热交换更自由。通过对比表 2 中数据不难看出，变压器工作时会产热，散热性能是温升的关键因素。油浸式变压器依赖自然对流散热，但高温环境增加油粘度，降低流动效率，导致散热减弱、温升升高，影响变压器性能与寿命^[3]。

3.2 冷却介质

油浸变压器中的冷却介质为不同种类的变压器油，其也是影响变压器温升的重要因素之一。冷却介质对油浸变压器效率的影响主要体现在导热性能、循环方式、纯净度、数量和分布等方面^[4]。

①冷却介质的导热性能：不同的冷却介质，其导热性能有所不同。②冷却介质的循环方式：如果冷却介质流动不畅，例如由于管道堵塞、泵故障等原因，会导致热量滞留在变压器内部，从而使温升高。③冷却介质的纯净度：当冷却介质中含有较多杂质时，其导热性能下降，从而使温升升高。④冷却介质的数量和分布：如果冷却介质数量不足或分布不均，会导致散热不均匀，使得部分区域温升过高。

3.3 内部结构

在油浸变压器中，内部结构对温升的影响主要表现在冷却油的流动和分布上。冷却油在变压器中起着冷却和散热的作用，当变压器运行时，冷却油会受到磁场和电流的吸引，产生流动，对于散热效果有着至关重要的影响^[5]。当前，油浸变压器内部通常设置有导向隔板，其主要原理为，利用隔板，引导冷却油按照特定的路径流动，使冷却油能够更加均

匀地流过变压器内部，从而带走更多的热量。无隔板时，冷却油流动可能不规则，导致局部温升。因此，在变压器设计中，应根据需求设计导向隔板，以增强散热性能，确保变压器安全、稳定、高效运行。

4 防止变压器高温的主要措施

4.1 优化散热性能

为确保变压器的稳定运行并防止高温，优化其散热性能是关键。第一，通过增加散热器的数量和面积，能够显著提升散热效率，确保热量在变压器运行时得到及时释放。第二，增强变压器的风量，通过安装更大或更多的风扇，加快空气流动，进一步提高散热效果。此外，还可以考虑优化风扇的布局，确保空气能够均匀流过变压器的各个部分，从而避免热量在某些区域过度集中。第三，对冷却系统进行定期的检查和维护，确保其稳定运行，甚至考虑升级方案，如增加冷却水流量，从而更有效地降低变压器温度。

4.2 优化冷却介质

对于油冷式变压器，选择导热性能卓越的变压器油作为冷却介质至关重要。变压器油的导热性能直接影响到变压器的散热效果。因此，在选择变压器油时，应优先考虑其导热性能，选择导热性能卓越的油种。同时，确保油的纯净度，避免任何杂质或污垢影响其导热性能。应定期检查变压器油的数量、分布和状态，确保其始终处于最佳状态。一旦发现变压器油不足或受污染，应立即补充或更换。此外，为了增强冷却效果，油浸变压器内部可以设置导向隔板。导向隔板能够引导冷却油按照预定的路径流动，确保热量能够均匀分布并有效排出。通过合理设置导向隔板，可以进一步提高变压器的散热效率。

4.3 完善内部结构

在变压器设计阶段，应全面考虑其内部结构的散热性能。通过合理布置线圈和铁芯等关键元件，可以通过增加线圈的间距、优化铁芯的排列方式或使用更薄的绝缘层等方法，避免热量在特定区域过度集中。对于大型变压器，还可以考虑采用分区冷却的方法，将不同部分的线圈和铁芯分别进行冷却，以提高整体的散热效果。此外，传统的绝缘材料可能导热性能较差，导致热量在变压器内部积累。因此，在变压器设计阶段，应优先考虑使用导热性能优越的材料，如导热绝缘材料，可以显著提高变压

器的散热效率。尽管优化布局 and 选择导热材料能够改善变压器的散热性能，但在某些情况下，仍需要对特定区域实施隔热措施，如绕组、铁芯等。针对此部分区域，可以使用热阻材料对它们进行包裹或隔离。除了在设计阶段进行优化外，还应定期对已投入运行的变压器进行监控和调整。通过实时监测变压器的温度分布和运行状态，可以及时发现潜在的高温问题。一旦发现某个区域的温度过高，可以采取相应的措施进行调整，如增加冷却风量、调整冷却介质的流量等。

5 结语

综上所述，电力变压器内部结构较为复杂，在工作过程中，绕组在电场与磁场的双重作用下，会产生大量热量，对变压器的工作性能造成直接影响。在本次油浸变压器温升试验中，通过测量顶层油液温度以及高、低压绕组的温升变化，经过分析后，发现变压器的散热性能与内部结构、冷却介质对变压器的温升有着直接影响。为确保变压器运行功率，后续根据实际使用需求，合理设计内部构造，使用植物绝缘油以及改善壳体散热性能。

参考文献

- [1] 邵先军,高一冉,金凌峰等.油浸式变压器内部温度的热-流场耦合仿真与特性分析[J].浙江电力,2023,42(12): 36-44.
- [2] 高勇,王杰,毛雅茹等.10kV 油浸式配电变压器过电流温升试验案例研究[J].电力大数据,2023,26(11):61-69.
- [3] 周忠杰,周跃刚,张煜烽.配电变压器自动温升试验技术的应用现状探讨[J].电子元件与信息技术,2022,6(12): 35-37+92.
- [4] 李涛,张艳.变压器温升试验研究[J].甘肃科技,2022,38(16):45-48.
- [5] 张煜烽,周忠杰,周跃刚.影响变压器温升结果因素分析[J].电力设备管理,2023(8):194-196.

版权声明：©2024 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS