

电气试验中电力变压器绕组错误接线及其检测研究

郑杰文

(宁波恒信工程检测有限公司, 浙江 宁波 315207)

摘要 绕组是电力变压器的核心部件, 在电气试验中发挥着重要作用。绕组错误接线会造成试验数据失效, 严重时会引起故障甚至发生事故。本文阐述了电气试验及电力变压器错误接线的基本原理, 强调正确接线对电气试验安全与电网稳定运行的重要意义, 在此基础上探究直流电阻法、低压电抗法、单相电源法等绕组错误接线检测技术, 以期对相关从业人员提供参考。

关键词 电力变压器; 电气试验; 绕组错误接线; 检测技术

中图分类号: TM4

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.08.025

0 引言

随着现代工业不断发展, 日常生活、生产对于电力供应的需求不断攀升, 对电网运行质量也提出了更高的要求。电气试验作为检测电力设备结构与性能的重要手段, 应用也越来越广泛。绕组是电力变压器的核心导电部件, 其连接状态直接影响变压器正常工作, 也关系到电力试验能否顺利、安全地完成。如果出现错误接线, 会损害设备本身, 导致试验结果失真或试验工作中断, 甚至对人员安全造成威胁。绕组接线异常可能由外部机械力挤压、回路电阻异常增大等因素引起, 导致局部电阻上升, 引发过热, 若不及时处理, 将对变压器造成实质性损害。因此, 为保障电气试验的有效进行以及设备与人员安全, 需对绕组错误接线及其检测技术进行深入研究与分析。

1 电气试验

电气试验是电气设备及其线路运维中常用的检测方法, 可以分成破坏性试验与非破坏性试验两种类型。前者的目的是测试电气设备在极限工作状态下的性能参数, 包括直流、交流耐压试验等, 试验过程通常会对设备结构、性能造成损坏, 且高负荷状态下进行试验测试, 带来的风险也较大, 对操作者专业水平及实践经验有较高要求。若破坏性试验中出现绕组错误接线, 可能引发设备故障, 威胁人员安全。非破坏性试验则一般在较低电压下开展, 危险性相对较小, 不会对设备造成实质性损坏。若试验中出现绕组错误接线, 可能会影响测试结果的精确度。

2 电气试验中电力变压器绕组错误接线的发生原理与危害性

2.1 发生原理

电力变压器绕组错误接线的发生原理主要是电气试验中绕组在电动力、机械力协同作用下发生不可逆的形变或者位移。其具体表现通常可以分成三种类型: 变压器整体位移; 绕组轴向尺寸改变或径向尺寸改变; 绕组出现鼓包、扭曲、匝间或相间短路等^[1]。以频率响应法为例, 绕组接线错误如图 1 所示, 在绕组一端注入扫频信号, 产生不同频率的电压激励, 利用记录装置同步检测并记录各扫描频率下绕组两端的对地电压信号 $U_o(n) \setminus U_i(n)$, 进而处理检测数据, 得到以分贝 (dB) 为单位的传递函数^[2]:

$$H(N) = 20 \lg \{U_o(n) / U_i(n)\} \quad (1)$$

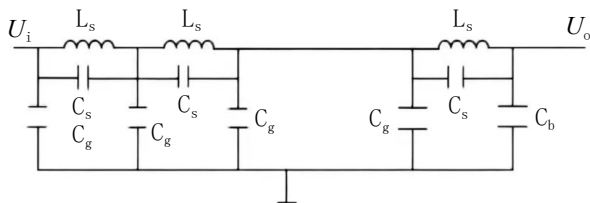
该电气试验方法主要是利用扫频测量技术, 通过测量绕组在不同频率下的响应情况, 并对结果进行横向、纵向比较, 从而评估出绕组的结构与性能情况。如果绕组存在接线错误, 将直接影响后续数据分析的可靠性。以图 1 所示的错误接线为例, 测量得到的谐振峰频率及电感值会明显偏高, 导致试验精度下降, 所得数据无法作为后续工作的有效依据。

2.2 危害性分析

在电气试验中, 变压器发挥着非常关键的作用, 关系到各项操作的安全性, 也便于操作人员进行整体控制。一旦其绕组接线出现错误, 不仅可能影响试验精度,

作者简介: 郑杰文 (1990-), 男, 本科, 助理工程师, 研究方向: 电气试验。

导致试验失效，还可能引发设备故障，造成经济损失，甚至引发安全事故，危及人员安全。例如：如果变压器遭受到外力挤压，可能导致绕组线圈发生变形、扭转等问题，进而导致线圈的实际电阻出现变化，与设计值出现偏差，严重干扰试验结果。若试验中操作人员未能及时发现这类绕组接线错误，实验过程的电能消耗就会出现异常，比如理论上消耗量为10 kW·h，实际却可能达到14 kW·h，导致试验数据失去参考价值，甚至设备烧毁。因此，在电气试验时，操作人员需要高度重视变压器绕组错误接线问题，以保证试验过程安全、结果精确。



注： C_s 为串联的饼间电容， C_g 为对地电容， C_b 为套管对地电容， L_s 为线圈电感。

图1 效率响应法绕组错误接线示意图

3 电气试验中电力变压器绕组错误接线的检测技术

3.1 直流电阻法

在电气试验中，绕组直流电阻的检测是评估绕组绝缘状况及电流回路连接情况的关键项目，能够有效反映引线连接、绕组接线以及整个导电回路的完好状态。由于变压器绕组回路结构复杂、时间常数较大，常规测量往往耗时较长。为缩短测量时间，可采用助磁法进行测试，通过串联高、低压绕组以加速铁芯磁饱和，从而提升测量效率。依据国家标准，直流电阻不平衡率 δ 计算公式^[3] 为：

$$\delta = \frac{(R_{\max} - R_{\min})}{R_{\text{IV}}} \times 100\% \quad (2)$$

式(2)中， R_{\max} 为相间或线间电阻的最大值， R_{\min} 为最小值， R_{IV} 为线间电阻的平均值。如果计算得到的直流电阻差异超出允许范围，则需进一步分析原因：若所有绕组电阻普遍偏大，多提示回路连接不良或引线存在断裂；若仅部分电阻偏大，通常与分接开关或分接引线接触不良有关；若绕组发生匝间短路且涉及匝数较多，直流电阻会显著下降，若短路匝数较少，则仍需结合直流电阻测试进行综合判断。

3.2 低压电抗法

低压电抗法检测变压器绕组错误接线的原理主要是通过对实测电抗值与标准额定值进行横向或者纵向的比较，如果二者差异较大，说明绕组接线可能存在问题。

横向对比就是比较同一变压器中三相绕组的参数差异。一般情况下，如果变压器额定电压低于220 kV且容量小于100 MVA，其三相参数之间的差值不应超过2.5%；如果变压器额定电压高于220 kV、容量大于100 MVA，这个差值应该在2%以内^[4]。在实际检测过程中，如果发现三相参数之间的差值超过以上标准，就可能存在接线错误，需及时进行处理。纵向对比则是把当前检测数据和这一变压器过往同样条件下的测试数据进行比较，通过观察二者之间的差值，来判断有无接线错误。一般情况下，额定电压、容量低于220 kV、100 MVA的变压器，这个差值应该在2%以内；额定电压、容量超过220 kV、100 MVA的变压器，这个差值应该在1.6%以内。若超出以上标准，则可能存在绕组错误接线^[5]。

3.3 单相电源法

单相电源法是检测变压器是否有绕组错误接线情况的常用手段，其接线方法主要有两种：一种是先将本侧绕组端子两两短接(B-C、C-A、A-B)，随后把单相电源依次接入对应的短接端子，形成闭合回路。通电后分别测量各绕组的电气参数，观察参数是否发生明显的变化即可以判断出绕组接线是否正确。如果检测后发现参数有剧烈的变化，则表明可能存在接线错误。另一种接线方法是先将变压器对侧绕组端子分别与中性点短接(a-0、b-0、c-0)，然后把单相电源依次接入本侧绕组的各端子(B-C、C-A、A-B)。测量并记录绕组的复合参数，根据参数变化情况判断接线状态。如果参数出现明显异常，就可能存在接线错误。

3.4 三相四线法

与单相电源法相比，三相四线法需要对所有侧绕组端子进行短接，然后接入三相电源，从而对绕组的电压、电流、功率等各项参数进行精确测量(如图2所示)。当绕组存在内部匝间短路或连接错误时，会导致三相空载电流不平衡、空载损耗异常增大。这种方法具有更高的工作效率，适合用于对绕组错误接线的初筛。在实际应用中，为优化整体工作条件，需选择合适的时间进行端子短接操作。

3.5 介质损耗因数测量

介质损耗因数是评估变压器绝缘状态的重要指标，其异常变化往往预示着变压器绕组或整体绝缘存在缺陷。在标准测试方法中，被测绕组应进行短接，高压试验电压施加于该绕组，非被测绕组则需可靠接地。实际操作中的一个常见错误是未对绕组进行短接，导致试验时绕组的电感构成回路，从而在变压器前后产生附加电压差，干扰介质损耗因数的准确测量，使实

测值显著大于真实值。如果在试验前正确短接绕组，测得的介损值与实际状况基本相符，可有效减少偏差。因此，绕组是否短接以及由此产生的损耗变化，都会直接影响电气设备试验的最终结果。

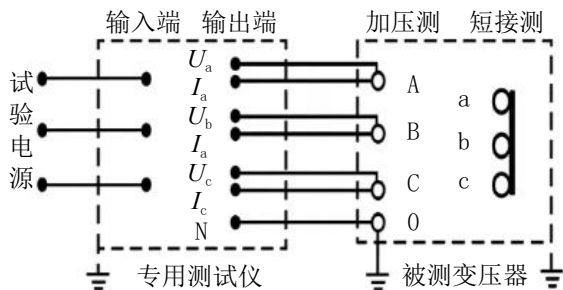


图 2 三相四线法接线示意图

4 电气试验中电力变压器绕组错误接线及其检测的案例验证分析

在实际应用中，需根据变压器类型及监测需求，合理选择检测方案或组合使用多种检测手段，以提升绕组错误接线的检测准确性。以某高压变电站中 220 kV 主变压器的电气试验为例，由 5 名专业技术人员组成试验小组，依次采用低压电抗法、单相电源法、三相四线法进行检测，每种方法重复两次。考虑到该变压器与较高母线电压连接，为保障验证过程安全，现场增设专用防护设备及辅助变压器，以确保在紧急情况下能够有效降低主变压器电压，避免设备损毁及人员伤害。

试验结束后，对各检测方法的数据进行分析与验证，主要结论如下：（1）使用单相电源检测时，所得参数波动明显。两次测量值的变化幅值分别为 8.7% 和 9.6%，均超出 5% 以内正常标准范围，表明存在绕组接线错误。（2）使用低压电抗检测时，横向对比显示三相测量值与原始数据差异达 4.7% 和 5.2%，超出 2.5% 的正常值范围；纵向对比差异分别为 6.3% 和 5.9%，超出 2.5% 的正常值范围，进一步确认绕组接线存在问题。

（3）采用三相四线检测时，参数同样呈现明显异常，两次测得的变化幅值分别为 12.9% 和 13.3%。整合三种检测方法的结果数据可见，该变压器绕组错误接线确实存在。

5 电气试验中的安全保障措施

5.1 加强人员安全教育

电气试验是一项具有一定危险性的工作，众多实际案例显示，多数电气试验事故是因为人员操作不规范所致。因此，提升试验安全性的关键是强化人员培训，确保人员持证上岗，熟悉试验设备，掌握仪器的性能及操作要求，并能熟练、规范地进行操作。在正式开

始电气试验前，可以利用模拟演练的方式检查、巩固相关人员的实操技能，保证各项操作的安全和规范，牢固树立安全生产意识，确保所有人员均能严格遵循标准作业流程。

5.2 明确安全注意事项

在正式开始电气试验前，需充分明确安全注意事项，确保所有人员严格执行安全规程。特别需要注意以下几点：（1）试验前应先测量绝缘电阻，确保带电部分与人体隔离，试验完成后须进行充分放电。（2）高压条件下的电气试验时，必须确保电气设备外壳可靠接地。（3）进行加压操作前，应仔细检查仪器与接线状态，确认无误后再执行。

5.3 加强试验过程安全控制

电气试验本身具有一定的安全风险，实验过程中可能有各种不确定因素，因此，除了做好前期准备、保证规范操作之外，还需要在试验过程中加强对风险因素的控制。其关键在于及时、准确地识别出风险点，并及时进行控制和处理。例如：在进行高风险的电气试验操作时，需要尤其注意保持安全作业距离，保证所有人员均在距离试验点足够远的安全范围，防止事故发生；进行破坏性电气试验时，尤其需要检查各人员的绝缘防护情况以及引线、地线连接情况，确保电流泄放通路顺畅，预防触电风险。

6 结束语

在电力变压器电气试验中，绕组接线是否正确直接关系到试验精确性和安全性。因此，在开展电气试验前，试验人员需充分做好准备工作，制定安全可行的试验方案，并严格执行操作规程。建议采用两种或两种以上的检测方法对绕组接线状态进行验证，以便及时识别接线错误，并安排修复或更换设备，确保试验过程安全、顺利地进行。

参考文献：

- [1] 杨静,李锴绩,岳增伟,等.电气试验中电力变压器绕组错误接线研究[J].电力设备管理,2025(10):75-77.
- [2] 段次祎,田甜,叶超凡.电力变压器绕组错误接线的诊断与分析[J].科学技术创新,2019(03):33-34.
- [3] 杨节.基于深度学习的电力变压器接线错误自动识别方法[J].自动化应用,2025,66(19):130-132.
- [4] 谢希.电气试验中电力变压器绕组错误接线的分析[J].中国新技术新产品,2020(23):59-61.
- [5] 白森文,姬陟,高洋,等.配电网变电站电气试验中变压器绕组错误接线的分析[J].电力设备管理,2024(23):234-236.