

电力变压器电气调试试验

李许斌 李 祥 何嘉轩

嘉兴市恒光电力建设有限责任公司南湖分公司 浙江 嘉兴 314033

摘要：电力变压器是电力系统电能传输与变换的核心设备，其电气调试试验至关重要。本文围绕电力变压器电气调试试验展开，阐述其基础理论，包括核心基础与调试试验核心理论。详细介绍了试验方案设计原则、设备选型及环境安全保障设计。重点说明绝缘性能、绕组特性、损耗与阻抗等核心试验方法与实操，还涉及其他关键调试试验。分析了试验误差来源、常见故障及处置方法，并提出试验质量控制措施，为电力变压器安全稳定运行提供保障。

关键词：电力变压器；电气调试；绝缘试验；特性试验

引言：在电力系统中，电力变压器作为电能传输与变换的关键枢纽，其性能直接影响电力供应的可靠性与稳定性。电气调试试验是确保变压器性能达标、安全投运的重要环节。通过科学合理的调试试验，能全面检测变压器的电气性能、电磁特性及运行可靠性，及时发现并排除潜在缺陷。本文深入探讨电力变压器电气调试试验的各个方面，旨在为相关技术人员提供系统的理论指导与实践参考，保障电力系统的安全高效运行。

1 电力变压器电气调试试验基础理论

1.1 电力变压器核心基础

电力变压器是电力系统中电能传输、变换的核心设备，其核心功能是通过电磁感应原理实现电压等级转换，保障电能的安全、高效输送。其核心结构主要包括铁芯、绕组、油箱、绝缘装置及冷却系统，其中铁芯作为磁路核心，采用高导磁硅钢片叠制而成，减少涡流损耗；绕组作为电路核心，分为高压绕组和低压绕组，通过匝数比实现电压变换。核心基础还包括变压器的工作原理，即电磁感应定律，交变电流通过原绕组产生交变磁场，交变磁场穿过副绕组感应产生感应电动势，进而实现能量传递^[1]。变压器的额定参数（额定容量、额定电压、额定电流、短路电压等）是调试试验的核心依据，明确各参数的定义、取值范围及相互关系，是开展电气调试试验的前提，判断变压器性能是否符合设计要求和运行标准的基础。

1.2 电气调试试验核心理论

电力变压器电气调试试验的核心理论围绕变压器的电气性能、电磁特性及运行可靠性展开，核心是通过一系列试验手段，验证变压器是否满足设计规范和运行要求，排查潜在缺陷。其核心理论基础包括电磁感应理论、绝缘理论、损耗理论及电路理论。电磁感应理论是绕组特性、变比等试验的核心依据，明确绕组匝数、电压、电流

之间的定量关系；绝缘理论指导绝缘性能试验，包括绝缘电阻、介损、耐压试验等，核心是验证绝缘材料的绝缘强度和绝缘性能，防止绝缘击穿导致故障；损耗理论支撑损耗试验，包括铁损、铜损的测量与分析，明确损耗产生的机理及影响因素；电路理论则用于分析试验电路的连接、参数测量及误差控制，确保试验数据的准确性。同时，调试试验的核心理论还包括试验数据的分析方法，通过对比标准值与实测值，判断变压器性能是否合格。

2 电力变压器电气调试试验方案设计

2.1 试验方案设计原则

电力变压器电气调试试验方案设计需遵循科学性、规范性、安全性、实用性四大核心原则，确保试验方案可行、数据准确、安全可控。科学性原则要求试验方案符合变压器的工作原理和电气特性，试验方法、测量手段贴合试验目的，试验流程设计合理，避免盲目试验导致设备损坏或数据失真。规范性原则要求试验方案严格遵循国家相关标准（如GB 1094系列标准）、行业规范及设备设计要求，试验参数、操作流程、数据判定标准统一，确保试验结果具有可比性和权威性。安全性原则是核心，方案需明确试验现场的安全防护措施、人员操作规范、应急处置流程，防范人身触电、设备短路、绝缘击穿等安全事故。实用性原则要求试验方案结合现场实际条件，考虑试验设备、环境、人员等因素，方案简洁可行，便于实操，同时兼顾试验效率和成本控制，确保试验能够高效、有序完成，为变压器投运提供可靠依据。

2.2 试验设备与器材选型

试验设备与器材的选型是保障调试试验顺利开展、数据准确的关键，选型需遵循适配性、高精度、可靠性、安全性的原则。首先，设备选型需与变压器的额定参数（额定容量、额定电压、额定电流等）相适配，例如绝

缘电阻测试仪的量程需覆盖变压器绝缘电阻的常规范围,耐压试验设备的输出电压需满足试验标准要求。其次,优先选用高精度、高稳定性的试验设备,如高精度万用表、介损测试仪、局部放电检测仪等,确保试验数据的准确性和重复性。设备需具备良好的可靠性和抗干扰能力,能够适应现场复杂的电磁环境,避免因设备故障导致试验中断或数据失真^[2]。还需配备必要的辅助器材,如试验引线、接地装置、绝缘手套、验电器等,辅助器材需符合安全标准,具备足够的绝缘强度和机械强度,保障试验操作的安全性和便捷性,所有设备与器材在使用前需进行校验,确保符合试验要求。

2.3 试验环境与安全保障设计

试验环境与安全保障设计是电力变压器电气调试试验的重要环节,直接关系到试验人员安全、设备安全及试验数据的准确性。试验环境设计需满足试验标准要求,环境温度控制在 $-5^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$,相对湿度不超过85%,避免在雨雪、大风、雷电等恶劣天气下开展试验,防止环境因素影响试验数据或引发安全事故;试验现场需保持整洁,无杂物堆积,试验区域与带电设备保持足够的安全距离,设置明显的警示标志,严禁无关人员进入。安全保障设计主要包括接地保护设计、过流过压保护设计、人员防护设计及应急处置设计。接地保护需确保试验设备、变压器外壳可靠接地,防止静电积累和触电事故;过流过压保护需在试验电路中设置保护装置,避免试验参数超标损坏设备;人员需穿戴合格的绝缘防护用品,严格按照操作流程作业;制定完善的应急处置预案,针对设备故障、人身触电等突发情况,明确处置流程和责任人员,确保突发情况能够及时、有效处置。

3 电力变压器核心电气调试试验方法与实操

3.1 绝缘性能调试试验

绝缘性能调试试验是保障变压器安全运行的核心试验,主要包括绝缘电阻测试、介质损耗因数测试、直流耐压试验和交流耐压试验,实操过程需严格遵循规范,确保试验安全和数据准确。绝缘电阻测试采用绝缘电阻测试仪,试验前需将变压器断电、放电,拆除所有外部接线,测量高压绕组对低压绕组、高压绕组对地、低压绕组对地的绝缘电阻,记录测试温度和绝缘电阻值,与标准值对比,判断绝缘性能。介质损耗因数测试采用介损测试仪,测量绝缘材料的介损值,反映绝缘材料的老化程度和绝缘缺陷,试验时需确保测试接线正确,避免电磁干扰影响数据。直流耐压试验和交流耐压试验用于检验绝缘材料的绝缘强度,试验时需缓慢升压,按照标准规定的升压速度和耐压时间进行,试验过程中密切观察设备状

态,若出现击穿、闪络等现象,立即降压断电,排查故障。试验结束后,需对变压器充分放电,做好试验记录。

3.2 绕组特性调试试验

绕组特性调试试验主要用于验证变压器绕组的电气性能,核心包括变比试验、直流电阻试验和绕组变形试验,实操过程需注重细节,确保试验数据精准。变比试验采用变比测试仪,试验前确认变压器分接开关位置,按照分接开关的不同档位,测量高压绕组与低压绕组的变比,对比设计变比,偏差需符合标准要求,若偏差过大,需检查绕组匝数或分接开关接触情况^[3]。直流电阻试验采用直流电阻测试仪,测量各相绕组的直流电阻,检查绕组接头、引线的接触情况,判断是否存在接触不良、绕组断股等缺陷,测量时需消除引线电阻的影响,记录测试温度,进行温度换算。绕组变形试验采用频响分析法,通过测量绕组的频率响应曲线,对比标准曲线,判断绕组是否存在变形、位移等缺陷,试验时需确保测试接线牢固,避免外界干扰,确保曲线清晰、数据可靠。

3.3 损耗与阻抗调试试验

损耗与阻抗调试试验主要包括空载损耗试验、负载损耗试验和短路阻抗试验,用于评估变压器的运行效率和抗短路能力,实操过程需严格控制试验条件。空载损耗试验是在变压器低压侧加额定电压,高压侧开路,测量变压器的空载电流和空载损耗,反映铁芯的铁损情况,试验时需确保电压稳定,测量数据准确,对比标准值,判断铁芯是否存在损耗过大等缺陷。负载损耗试验和短路阻抗试验需将变压器一侧绕组短路,另一侧绕组加试验电压,使绕组中流过额定电流,测量负载损耗和短路阻抗,反映绕组的铜损和绕组阻抗特性,试验时需合理选择试验电源,控制试验电流稳定,避免过流损坏设备。试验过程中需记录试验电压、电流、损耗等数据,按照标准进行换算,确保试验结果符合设计要求。

3.4 其他关键调试试验

除核心试验外,电力变压器电气调试还包括局部放电试验、油中溶解气体分析试验和冷却系统调试试验,这些试验是排查潜在故障、保障设备长期稳定运行的关键。局部放电试验采用局部放电检测仪,测量变压器内部的局部放电量,排查绕组绝缘缺陷、油质劣化等问题,试验时需将变压器置于屏蔽环境中,避免外界干扰,确保检测数据准确。油中溶解气体分析试验通过采集变压器绝缘油样本,分析油中溶解的特征气体(如甲烷、乙烷、乙炔等)的含量,判断变压器内部是否存在过热、放电等故障,试验需严格按照油样采集、分析规范进行,确保油样无污染、分析结果可靠。冷却系统调试试验主

要检查冷却装置（如风扇、油泵）的运行状态，测试冷却系统的冷却效果，确保冷却系统能够正常工作，满足变压器运行时的散热需求，试验时需检查冷却装置的启停、转速等参数，排查运行故障。

4 试验误差分析与故障处置

4.1 电气调试试验误差分析

电力变压器电气调试试验误差主要分为系统误差、随机误差和过失误差，需精准分析误差来源，采取针对性措施减少误差，确保试验数据可靠。系统误差主要由试验设备、试验方法、环境因素等导致，如试验仪器精度不足、接线错误、环境温度湿度影响、电磁干扰等，此类误差具有规律性，可通过校准试验设备、规范接线、控制试验环境、采取抗干扰措施等方式减少。随机误差主要由试验过程中的偶然因素导致，如仪器读数波动、环境微小变化等，此类误差无规律可循，但可通过多次重复试验、取平均值的方式降低影响。过失误差主要由试验人员操作不当导致，如读数错误、操作流程不规范、记录失误等，此类误差可通过加强人员培训、规范操作流程、做好试验记录审核等方式避免。误差分析需结合试验数据，对比标准值，排查误差来源，为试验数据修正和试验质量控制提供依据。

4.2 调试试验中常见故障及处置

电力变压器电气调试试验中常见故障主要包括绝缘故障、绕组故障、试验设备故障及操作故障，需及时排查故障原因，采取科学处置措施，确保试验顺利开展。绝缘故障主要表现为绝缘电阻过低、介损过大、耐压试验击穿等，处置时需先排查绝缘油质、绕组绝缘层是否老化、受潮，必要时进行油过滤、干燥处理，若存在绝缘破损，需修复或更换绝缘部件。绕组故障主要表现为直流电阻偏差过大、变比异常、绕组变形等，处置时需检查绕组接头接触情况、分接开关状态，排查绕组断股、变形等问题，必要时进行接头紧固、绕组修复。试验设备故障主要表现为仪器无法正常启动、测量数据失真等，处置时需检查设备电源、接线，对设备进行校准或维修，确保设备正常运行。操作故障主要由操作不当导致，需立即停止试验，排查操作流程，纠正错误操作，做好安全

防护后重新开展试验。

4.3 试验质量控制措施

为确保电力变压器电气调试试验质量，需从人员、设备、流程、环境四个方面制定完善的质量控制措施，实现试验全过程管控。人员方面，需配备专业的试验人员，开展岗前培训和技能考核，确保人员熟悉试验标准、操作流程和安全规范，具备相应的操作技能，严禁无证上岗^[4]。设备方面，定期对试验设备进行校准、维护和保养，确保设备精度和可靠性，试验前检查设备状态，不合格设备严禁使用，同时规范设备存放和使用，避免设备损坏。流程方面，严格按照试验方案和操作规范开展试验，做好试验前的准备工作、试验过程中的数据记录、试验后的数据分析和报告编制，建立试验记录审核制度，确保试验数据真实、准确、完整。环境方面，严格控制试验环境温度、湿度等参数，避免恶劣环境影响试验质量，同时保持试验现场整洁，规范试验区域管理，防范安全事故和试验误差，确保试验质量符合标准要求。

结束语

电力变压器电气调试试验是一项系统且严谨的工作，涵盖理论、设计、实操、误差分析、故障处置及质量控制等多个层面。科学规范的试验方案、精准的试验操作、有效的误差控制与故障处理以及严格的质量管控，是保障试验数据准确、可靠，确保变压器性能符合设计要求与运行标准的关键。随着电力系统不断发展，对变压器调试试验提出更高要求，技术人员需持续学习、提升技能，以适应新需求，为电力系统稳定运行贡献力量。

参考文献

- [1]沈海涛.电力电气设备安装调试与运行技术分析[J].消费电子,2026(6):164-166.
- [2]缪雅云.浅谈电力变压器的运行检修及调试[J].南方农机,2024,55(20):154-157,181.
- [3]郭自明.变压器与GIS设备安装与调试技术要点[J].灯与照明,2025,49(1):160-163.
- [4]马丽.电力变压器安装与保护调试要点分析[J].科技资讯,2024,22(8):89-91.