

# 变压器装配工艺与变压器匝间短路的关系

张志强

冀中能源井陘矿业集团有限公司物业管理服务中心 河北 石家庄 050100

**摘要:** 本文探讨了变压器装配工艺与变压器匝间短路的紧密关系。概述变压器装配的基本流程和原理,分析匝间短路的定义、成因及其对变压器性能的影响。重点论述了装配工艺中可能导致匝间短路的因素,并提出优化工艺以减少短路发生的具体措施。同时,详细介绍匝间短路的预防与故障处理技术及应急措施,旨在提高变压器运行的安全性和可靠性。

**关键词:** 变压器装配; 变压器匝; 短路的关系

## 1 变压器装配工艺概述

变压器装配是将变压器的主要部件和辅助部件按照设计要求进行组装、连接和固定的过程。这一工艺涵盖了准备、组装、调试和检验等多个环节。准备阶段主要包括检查零部件的完整性和质量,确保所有部件符合标准; 组装环节则是将各个零部件按照设计图纸和技术要求精准地组装在一起; 调试环节涉及对变压器进行电气和机械性能的测试与调整,确保其运行稳定可靠; 检验环节则是对装配完成的变压器进行全面检查,确认其质量和安全性能。在变压器装配过程中,需严格遵守相关的安全规程,穿戴必要的防护用品,防止发生高压电触电和机械伤害等事故。同时,还需关注环境保护和职业健康,减少废弃物的产生,并采取有效措施防止有害物质对操作人员的危害。变压器的主要部件包括铁芯、绕组、油箱及附件、引线及绝缘件等。这些部件的装配质量直接影响到变压器的性能和寿命。因此,在装配过程中,需严格控制各部件的装配精度和质量,如铁芯的空气隙应均匀、绕组的匝数和线径应符合设计要求、油箱的密封性能应良好等。

## 2 变压器装配的基本原理

变压器装配的基本原理是基于电磁感应定律和变压器设计的基本原理进行的。在变压器装配过程中,核心在于精确构建并组装变压器的关键部件,以实现电能的传输与电压的变换。变压器通过其铁芯(通常由硅钢片叠制而成,以减少涡流损耗)构建了一个强磁耦合的环境。铁芯上的绕组,即初级绕组和次级绕组,按照特定的匝数和布局绕制,它们之间不直接相连,但通过铁芯的磁场相互耦合。

装配时,初级绕组接入交流电源,电流在绕组中流动时产生交变磁场,这个磁场会穿过铁芯并感应到次级绕组中<sup>[1]</sup>。根据法拉第电磁感应定律,次级绕组中的磁通

量变化会产生电动势,从而实现电能的传输和电压的变换。电压的变换比例由初级和次级绕组的匝数比决定,即电压比等于匝数比。装配过程中还应注意绕组的绝缘处理,以防止绕组间的短路和漏电。油箱及附件的装配则确保了变压器内部的绝缘油能够有效冷却和绝缘,同时保护变压器免受外部环境的影响。

## 3 变压器匝间短路原因与机理分析

### 3.1 变压器匝间短路的定义

变压器匝间短路,作为一种电气故障现象,特指在变压器绕组内,原本应当保持电气绝缘的不同线圈匝之间,由于某种原因形成了直接的低阻抗电气通路。这种短路可能是局部的,也可能逐渐扩展至整个绕组,严重影响变压器的正常运行。匝间短路不仅破坏了绕组内部的绝缘结构,还可能导致电流分布不均,产生过热、绝缘损坏甚至变压器烧毁等严重后果。因此,准确理解和定义变压器匝间短路,对于分析其原因、机理及影响具有重要意义。

### 3.2 变压器匝间短路的发生原因和机理

变压器匝间短路的发生原因多种多样,主要包括绝缘材料老化、制造工艺缺陷、运行环境恶劣以及操作不当等。机理上,匝间短路主要是由于绝缘层的失效,使得原本隔离的匝间导体直接接触。这种接触可能源于绝缘材料的老化、裂纹、破损,或者是由于绕组在制造、运输、安装过程中受到的机械损伤; 长期运行于高温、高湿环境下的变压器,其绝缘性能会逐渐下降,也增加了匝间短路的风险。在强电场作用下,受损的绝缘层易发生局部放电,进而引发短路。此外,过电压冲击也可能直接导致绝缘层击穿,造成匝间短路。

### 3.3 变压器匝间短路对变压器性能和安全的影响

变压器匝间短路对其性能和安全的影响深远。第一,短路会直接导致绕组电阻减小,电流增大,产生额

外的铜损和热量,使变压器温度升高。长时间的高温运行会加速绝缘材料的老化,进一步恶化匝间绝缘状况,形成恶性循环。第二,短路引起的电流分布不均可能导致电磁力增大,引起绕组振动、变形甚至松动,破坏变压器的结构稳定性。第三,匝间短路还会影响变压器的电压波形和输出电压,降低供电质量。最严重的是,短路产生的热量和电弧可能引发火灾或爆炸,对设备和人身安全构成严重威胁。因此,及时发现并处理变压器匝间短路故障,对于保障电力系统的安全稳定运行至关重要。

#### 4 变压器装配工艺与变压器匝间短路关系分析

##### 4.1 变压器装配工艺对变压器匝间短路的影响

变压器装配工艺作为变压器制造过程中的关键环节,对防止匝间短路的发生具有至关重要的影响。良好的装配工艺能够确保变压器绕组的精确对齐、紧密固定以及绝缘材料的妥善安装,从而构建出坚固的电气绝缘屏障。相反,如果装配工艺存在缺陷或操作不当,将直接导致绕组结构的松散、绝缘层的破损或错位,为匝间短路埋下隐患。装配过程中绕组的层间与匝间距离控制、绝缘材料的铺设与固定方式、以及绕组的紧固程度等,都会直接影响到匝间绝缘的可靠性。装配工艺的精湛还能优化变压器内部的电磁场分布,减少因电磁应力集中而导致的绝缘损坏<sup>[2]</sup>。同时,精细化的质量控制措施,如定期检验与抽检,能及时发现并纠正潜在的装配问题,从而进一步增强匝间绝缘的安全性。

##### 4.2 变压器装配工艺中可能导致匝间短路的因素

在变压器装配工艺中,存在多个可能导致匝间短路的因素;绕组的排列与紧固是关键一环。如果绕组排列不整齐,或紧固力度不够导致绕组松动,都可能在运行过程中因振动而相互摩擦,破坏绝缘层;绝缘材料的处理也是关键因素。绝缘纸的裁剪、折叠、铺设等环节需严格把控,以避免褶皱、破损或错位现象的发生;装配环境中的杂质、湿度和温度等也可能对绝缘材料的性能产生不利影响。再者,装配工人的技术水平与责任心也是不容忽视的因素。技术水平不高的工人可能在操作过程中对细节处理不当,而责任心不强的工人则可能忽视质量控制环节,导致匝间短路隐患的存在;装配过程中还可能因工艺控制不严导致层间距离不均匀,影响散热与电场分布,加速绝缘老化。同时,使用劣质或不合格的绝缘材料会直接降低匝间绝缘强度,增加短路风险。

##### 4.3 优化工艺减少变压器匝间短路的发生

为了减少变压器匝间短路的发生,需要从以下几个方面优化装配工艺:一是加强绕组的排列与紧固控制,确保绕组排列整齐、松紧适度,并在紧固过程中避免对

绝缘层造成损伤。二是优化绝缘材料的处理流程,提高绝缘纸的裁剪、折叠、铺设等环节的精确度与一致性,同时加强对绝缘材料的检测与筛选,确保其满足使用要求。三是改善装配环境,保持环境清洁、干燥,并控制适宜的温湿度条件,以减少环境因素对绝缘材料性能的影响。四是提高装配工人的技术水平与责任心,通过定期培训与考核,增强工人的专业技能与质量意识,确保装配过程的规范化与标准化。另外,还可以引入先进的装配设备与检测工具,提高装配效率与质量控制水平,进一步降低匝间短路的风险。

#### 5 变压器匝间短路预防与故障处理技术

##### 5.1 变压器匝间短路的预防措施

###### 5.1.1 设计与制造阶段的严格把控

在变压器的设计与制造之初,就应树立起预防匝间短路的意识。设计上,需精心计算绕组的层数与匝数,确保绕组结构的合理布局与紧密度,以减少因结构不合理导致的电气应力集中;采用先进的电磁设计软件,对绕组的电场分布进行仿真分析,优化绝缘结构,增加绝缘裕度。在材料选择上,应优先采用电气性能优越、耐热性好、机械强度高的绝缘材料,如高品质的绝缘纸、绝缘漆等,以提升绕组的整体绝缘强度。制造过程中,实施严格的质量控制体系,对每一道工序进行把关,确保无瑕疵产品流出。特别是绕组绕制、绝缘层铺设、线圈压紧等关键环节,需采用先进的自动化设备与工艺,减少人为因素导致的误差。此外,加强过程检验与成品测试,通过高压试验、局部放电检测等手段,全面排查潜在的绝缘缺陷,确保每台变压器出厂前都达到设计要求与质量标准<sup>[3]</sup>。

###### 5.1.2 运行维护管理的加强

变压器投入运行后,其维护与管理工作同样不容忽视。定期进行的预防性试验是监测绝缘性能变化、及时发现匝间短路前兆的重要手段。通过绝缘电阻测试,可以评估绕组绝缘层的绝缘性能;介质损耗因数测量则能反映绝缘材料的老化程度和是否存在局部放电现象。结合历史数据与试验结果,可以预测绝缘性能的变化趋势,为制定针对性的维护计划提供依据;保持变压器运行环境的清洁与干燥至关重要。定期对变压器进行清扫与除湿处理,减少灰尘、水分等有害因素对绝缘层的侵蚀。对于运行环境恶劣的变压器,如安装在户外或潮湿地区的设备,需采取额外的防护措施,如加装防护罩、安装除湿机等。

###### 5.1.3 运行方式的优化

优化变压器的运行方式也是预防匝间短路的有效途

径。避免变压器长时间过载运行和频繁启停,可以减少机械应力和热应力对绕组绝缘的损害。合理规划电网负荷分配,确保变压器在额定容量范围内运行,减少过热现象的发生。此外,对于老旧或性能下降的变压器,应及时进行技术改造或更新换代,以消除潜在的匝间短路风险。

#### 5.1.4 人员培训与教育

通过定期培训,提高操作人员的专业技能与安全意识,使他们能够熟练掌握变压器的操作规程、维护保养知识以及故障处理技能。同时,开展安全教育活动,增强操作人员的责任心与使命感,确保他们能够在工作中时刻保持警惕,及时发现并处理潜在的匝间短路隐患。对于新入职的员工,还需进行严格的岗前培训与考核,确保其具备上岗资格后方可进行操作。

#### 5.2 变压器匝间短路故障处理的技术及方法

当变压器发生匝间短路故障时,需要迅速而准确地进行故障处理,以防止故障扩大和造成更严重的后果。应立即切断故障变压器的电源,确保安全隔离,并通知相关部门和人员进行抢修;通过外观检查、绝缘电阻测试、局部放电检测等手段,对故障变压器进行全面诊断,确定匝间短路的具体位置和原因。在确认故障点后,根据实际情况选择合适的修复方案,如更换受损的绕组、绝缘材料或整个部件。修复过程中应严格遵守操作规程和安全要求,确保修复质量可靠。修复完成后,需再次进行绝缘测试和预防性试验,验证修复效果,确保变压器恢复正常运行。

#### 5.3 预防与处理的应急措施

在变压器匝间短路的预防与应对工作中,制定并有效执行应急措施是确保电力系统稳定运行的坚固防线。这要求企业首先建立起一套全面、细致且具前瞻性的应急预案体系,该体系不仅明确了从管理层到一线操作人员的各级职责,还详细规划了应急响应的各个环节,包括从故障初现到全面恢复供电的每一步流程,确保在突发情况下能够迅速、有序地启动预案,减少故障对电

网的影响。通过定期组织模拟真实故障场景的应急演练,让每一位参与者都能在实战中检验自己的应急处理能力,熟悉并掌握应急操作程序和关键注意事项。这种“以练为战”的方式不仅提高了个人技能水平,还增强了团队协作与沟通能力,为实际故障处理奠定了坚实基础。建立与周边单位和部门的应急联动机制是应对大型故障、快速调集资源的关键。在发生变压器匝间短路等严重故障时,能够迅速与消防、医疗、供电公司等相关部门取得联系,共享信息、协调资源,形成合力进行联合抢修,以最短时间恢复供电,减少社会影响和经济损失。通过对每一次故障的数据进行详尽记录与深入分析,可以及时发现设备运行中的薄弱环节和潜在风险点,为后续的预防措施和应急处理流程的优化提供有力支持;总结经验教训、分享成功案例也是提升整体应急管理水平的有效途径,有助于在行业内形成相互学习、共同进步的良好氛围,共同提高变压器运行的安全性和可靠性。

#### 结束语

通过对变压器装配工艺与匝间短路关系的深入分析,本文为变压器制造与运行维护提供了宝贵的理论指导。未来,随着技术的不断进步和经验的积累,进一步优化变压器装配工艺,提升设备质量,减少匝间短路等故障的发生,为电力系统的稳定运行提供更加坚实的保障。同时,加强行业间的交流与合作,共同推动变压器技术的进步与发展,也是提升整体供电可靠性的重要途径。

#### 参考文献

- [1]李健.赵双兵.张红旗.胡科.110kV变压器匝间短路故障分析与处理[J].中国电业(技术版).2017(11):60-62.
- [2]张钰.杨晓慧.赵凯强.干式变压器匝间短路引起的调相机跳闸故障分析[J].电工电气,2019(12):42-44+71.
- [3]夏彦卫.高树国.成立.等.热老化下换流变压器内油纸绝缘组合理化和电气特性研究[J].电气应用,2020,39(7):101-107.