

# 干式变压器爬电危害及预防分析

李志梁 贝云杰 曹博闻

宁波轨道交通集团有限公司运营分公司 浙江 宁波 315200

**摘要:** 干式变压器作为电力系统中重要的电气设备,其安全可靠运行对于保障电力供应的稳定性至关重要。然而,爬电现象作为干式变压器运行中的一种常见隐患,严重威胁着设备的绝缘性能和安全运行。本文将对干式变压器中的爬电现象、其带来的危害、预防措施以及应急处理方法进行深入分析,旨在为减少爬电危害、保障地铁供电系统等电力系统的稳定与安全提供理论参考和实践指导。

**关键词:** 干式变压器;爬电现象;预防措施;应急处理

## 引言

随着电力系统的快速发展,干式变压器作为电力传输和分配的关键设备,其安全性和可靠性日益受到关注。干式变压器因其无油设计、维护简便、环保等优点,在地铁、高层建筑、工矿企业等场所得到广泛应用。然而,在实际运行过程中,干式变压器面临着多种故障风险,其中爬电现象是一种较为常见且危害严重的故障。因此,深入研究干式变压器的爬电现象,分析其危害原因,并提出有效的预防措施和应急处理方案,对于保障电力系统的稳定运行具有重要意义。

## 1 干式变压器爬电危害分析

### 1.1 绝缘损坏

爬电现象的产生,会使得电流不再沿着绝缘体内部的正常路径流动,而是沿着绝缘材料表面形成导电通道。这种异常的电流流动会逐渐破坏绝缘材料的分子结构,导致其绝缘性能逐渐降低。在爬电过程中,绝缘材料表面可能会受到电弧的烧灼,形成碳化或裂纹,进一步加剧绝缘性能的下降。随着时间的推移,绝缘材料可能会完全丧失其绝缘作用,使得变压器内部的高压电与低压电或地之间形成导电通路,严重威胁设备的正常运行。

### 1.2 短路风险

当爬电电流足够大时,它可能击穿绝缘材料,使得不同相之间的导体或导体与地之间形成直接的电气连接。这种短路情况会导致设备内部电流急剧增大,产生大量的热量和电弧,对变压器造成严重的损坏。短路故障还可能引发停电事故,影响电力系统的正常运行<sup>[1]</sup>。在电力系统中,干式变压器作为重要的电气设备,其故障可能导致整个系统的稳定性受到破坏,甚至引发更大范围的停电事故。

### 1.3 火灾隐患

当爬电电流通过绝缘材料表面时,由于电阻的存

在,会产生大量的热量。这些热量可能使得绝缘材料局部温度升高,甚至达到其燃点,从而引发火灾。火灾不仅对设备本身造成严重的破坏,还可能蔓延至周围环境,威胁人员的生命安全。在电力设施中,火灾的后果往往是灾难性的,不仅可能导致设备损坏、停电事故,还可能引发更大范围的火灾,对周围环境和人员造成严重的伤害。

### 1.4 设备寿命缩短

爬电电流对绝缘材料的破坏作用使得设备在运行过程中逐渐失去其原有的性能,需要更加频繁的维修和更换。这不仅增加了设备的运行成本,还可能对电力系统的稳定性造成潜在威胁。设备寿命的缩短还意味着需要更频繁地更换设备,这在一定程度上增加了对资源的消耗和环境的负担。

## 2 影响干式变压器爬电距离的关键因素

干式变压器的爬电距离受其工作环境条件、绝缘材料选择以及电压等级等多重因素的影响。环境条件中的湿度、盐雾、灰尘和化学污染物等都会降低变压器表面的绝缘性能,特别是在沿海盐雾环境中,由于盐雾的腐蚀性作用,爬电距离需比标准值增加20-30%以确保安全。绝缘材料的选择也至关重要,不同材料如硅橡胶、环氧树脂和瓷绝缘子的性能差异显著。硅橡胶因其优异的耐污闪性能,可使爬电距离减少10-15%;而瓷绝缘子则通常需要增加伞裙或采用防污闪涂料(如RTV涂料)来提高其绝缘性能。此外,电压等级也是影响爬电距离的关键因素。对于高压变压器,如110kV及以上等级,需采用更大的爬电距离和特殊的伞裙设计,以确保在高压环境下的安全运行。

## 3 干式变压器爬电现象的预防措施

### 3.1 定期检查与维护

应定期对干式变压器的绝缘表面进行全面检查。具体来说,检查应包括绝缘子、套管、接线端子等易受影响部位。检查时应仔细观察绝缘表面是否有污物、裂

纹、变色等现象,并使用清洁、干燥的布或专用清洁剂进行清理。对于难以清理的污物,可以使用适当的工具进行轻轻刮除,但要避免损伤绝缘表面。此外,还应定期对干式变压器进行耐压测试和绝缘电阻测试。耐压测试可以模拟实际工作电压下的绝缘性能,检查是否存在击穿或漏电现象。绝缘电阻测试则可以评估绝缘材料的电阻值,判断其绝缘性能是否良好。测试时应严格按照相关标准和规范进行,确保测试结果的准确性和可靠性。除了定期检查外,还应加强对干式变压器的日常维护。例如,定期检查紧固件是否松动,及时拧紧;清洁变压器外壳,保持其清洁干燥;检查通风设施是否完好,确保变压器周围的空气流通性。

### 3.2 环境控制

为了控制环境对干式变压器的影响,可以采取以下措施:首先,在变压器安装位置选择时,应尽量避免潮湿、多尘的场所,选择干燥、通风良好的地方进行安装。其次,可以加装通风设备,如风扇、换气扇等,提高变压器周围的空气流通性,降低湿度和温度。同时,还可以设置温度、湿度监测装置,实时监测变压器运行环境的温湿度变化,及时发现并处理潜在的环境问题<sup>[2]</sup>。此外,对于室外安装的干式变压器,还应考虑防雷击措施。可以在变压器附近设置避雷针或避雷带,将雷击电流引入大地,避免雷击对变压器造成损害。同时,还应定期检查避雷设施的连接是否牢固可靠,确保其正常工作。

### 3.3 绝缘材料选择与处理

在选用绝缘材料时,应充分考虑其耐爬电性能。环氧树脂等绝缘材料具有良好的耐爬电性能、机械强度和耐热性能,可以有效提高干式变压器的抗爬电能力。因此,在变压器设计和制造过程中,应优先选用这类绝缘材料。同时,还应加强对绝缘材料的质量监管,确保其符合相关标准和要求。除了选择合适的绝缘材料外,还可以对绝缘材料进行处理,提高其抗爬电性能。例如,可以在绝缘材料表面涂覆一层防污闪涂料,形成一层保护膜,防止污物和湿气对绝缘材料的侵蚀。同时,还可以对绝缘材料进行疏水处理,使其表面具有疏水性能,减少湿气的吸附和积聚。

### 3.4 设计优化

在变压器设计时,应充分考虑爬电现象的可能性,并采取相应的设计措施来减少其发生的可能性。增加爬电距离是设计优化中的重要一环。通过增加绝缘子之间的距离或采用更长的套管等设计手段,可以有效增加爬电路径的长度,从而提高绝缘材料的抗爬电能力。在设计时,还应考虑绝缘材料的厚度和层数,确保其具有足

够的绝缘强度。此外,还可以优化绝缘结构设计,如采用多层绝缘结构、设置绝缘屏障等,以进一步提高绝缘性能。对于易受潮湿、污物影响的部位,可以设计成易于清洁和维护的结构,方便后续的检查和维护工作。

### 3.5 安装保护装置

在变压器上安装过电压保护装置可以有效防止电压过高引发爬电现象。过电压保护装置可以实时监测变压器的电压情况,当电压超过设定值时,自动切断电源或采取其他保护措施,从而避免过电压对绝缘材料的破坏。在选择过电压保护装置时,应充分考虑其响应速度、准确性以及可靠性等因素,确保其能够有效发挥保护作用<sup>[3]</sup>。除了过电压保护装置外,还可以安装其他类型的保护装置,如电流保护装置、温度保护装置等。这些保护装置可以实时监测变压器的运行状态,一旦发现异常情况,及时采取措施进行处理,避免事故的发生。

### 3.6 定期培训与管理

除了上述技术措施外,还应加强对相关人员的培训和管理。对于负责干式变压器运行和维护的人员,应定期进行专业培训,提高其专业技能和安全意识。培训内容应包括干式变压器的结构原理、运行维护方法、故障处理措施等方面。同时,还应建立完善的管理制度,明确各级人员的职责和权限,确保干式变压器的运行维护工作有序进行。对于发现的潜在问题或异常情况,应及时报告并处理,避免事态扩大。

## 4 干式变压器爬电现象的应急处理

### 4.1 立即停电

一旦发现干式变压器出现爬电现象,首要任务是迅速切断变压器的电源,停止其运行,以防止事故扩大。操作人员应立即行动,穿戴好绝缘防护用品,如绝缘手套、绝缘鞋等,确保操作过程中的人身安全。在找到变压器的电源开关或控制柜后,应果断切断电源,并使用验电器或万用表等工具确认变压器已完全断电,避免残留电荷或意外合闸导致的危险。这一步骤至关重要,因为持续的电流可能会加剧爬电现象,导致更严重的后果。停电后,现场应保持安全隔离,设置警示标志,防止无关人员接近变压器区域,确保事故现场的安全秩序。同时,应立即通知相关部门和人员,包括电力调度中心、维修团队和安全管理部门,汇报事故情况,以便协调后续的处理工作。

### 4.2 检查维修

停电后,专业人员应迅速对变压器进行详细检查,以找出爬电的具体原因,并修复绝缘损坏部分。在找出爬电原因后,专业人员应制定针对性的修复方案。对于轻微的绝缘损坏,可以进行局部修复,如清洗绝缘表

面、填补裂纹等<sup>[4]</sup>。对于严重的损坏，可能需要更换整个绝缘部件或变压器。在修复过程中，应严格遵守安全操作规程，确保修复工作的质量和安全。修复完成后，应进行严格的验收测试。测试内容应包括绝缘电阻测试、耐压试验等，以确保变压器的绝缘性能恢复到正常水平，满足安全运行的要求。

4.3 记录分析

在处理完爬电现象后，还应详细记录整个事故的情况。记录内容应包括爬电现象发生的时间、地点、天气条件、运行环境等基本信息，以及事故处理过程中的所有操作、发现的问题、采取的措施和修复结果等详细信息。这些记录对于后续的分析总结至关重要。通过仔细分析事故原因，可以找出导致爬电现象的根本原因，如绝缘材料老化、污秽严重、过电压等。针对这些原因，可以提出针对性的改进措施，如加强绝缘材料的维护、定期清洗变压器、安装过电压保护装置等。同时，还应针对处理过程进行全面总结，提炼出有效的应急处理方法和经验教训。这些经验教训对于今后的类似事故处理具有重要的参考价值，可以帮助操作人员更好地应对突发

情况，提高应急处理能力。最后，应根据事故分析和总结的结果，对变压器的运行维护管理进行持续改进。

5 案例分析

5.1 案例背景

某企业使用的一台型号为SCB10-1600/35的干式变压器，在安装完毕并运行18个月后，连续几日出现放电声，且放电声越来越明显。经变压器厂家维修人员现场检查，发现变压器高压D形连接线的绝缘出现破损，且D形连接线与高压电缆距离小于100mm，不符合该电压等级变压器的安装要求。进一步分析发现，此次事故与干式变压器的爬电现象密切相关。

5.2 爬电现象及危害

爬电过程中产生的电弧会逐渐侵蚀绝缘材料，导致绝缘性能下降，严重时甚至可能引发短路。绝缘损坏后，变压器可能出现局部放电、过热等现象，进而影响设备的正常运行，甚至导致设备损坏。在严重情况下，爬电现象可能引发火灾、爆炸等安全事故，对人员和财产造成重大损失。

5.3 数据分析与对比

数据分析与对比表

| 指标         | 正常情况            | 故障情况            |
|------------|-----------------|-----------------|
| 绝缘电阻值 (MΩ) | ≥ 1000          | < 100           |
| 爬电距离 (mm)  | ≥ 100 (按电压等级要求) | < 100           |
| 局部放电量 (pC) | < 5             | > 50 (实测值)      |
| 绝缘材料表面状态   | 清洁、干燥、无污秽       | 有明显树枝状爬电痕迹，污秽严重 |
| 设备运行声音     | 正常嗡嗡声           | 明显放电声，且逐渐增强     |

5.4 预防措施

为了防止干式变压器发生爬电现象及由此引发的危害，可以采取以下预防措施：一是加强绝缘材料的质量控制：确保绝缘材料具有良好的绝缘性能和抗爬电性能，避免使用劣质或老化的绝缘材料。二是严格控制安装质量：在安装过程中，严格按照相关规范进行操作，确保绝缘距离、爬电距离等关键参数符合要求。特别是对于高压连接线和电缆等关键部位，要进行仔细检查和处理。三是加强日常维护保养：定期对干式变压器进行清洁、检查和测试，及时发现并处理绝缘材料表面的污秽和损伤。同时，保持设备运行环境的清洁和干燥，降低爬电现象的发生概率。四是采用先进技术：使用先进技术对传统干式变压器的结构、材料以及工艺进行优化，提升干式变压器的整体性能。例如，可以采用新型绝缘材料、增加绝缘层厚度等措施来提高绝缘性能。

结语

干式变压器的爬电现象是一种严重的安全隐患，对

设备的绝缘性能和安全运行构成重大威胁。为了有效预防爬电现象的发生，应采取定期检查、环境控制、绝缘材料选择、设计优化、安装保护装置和定期维护等综合措施。同时，一旦发现爬电现象，应立即停电并进行检查维修，确保设备的安全运行。通过以上措施的实施，可以有效减少爬电危害，保障地铁供电系统等电力系统的稳定与安全。

参考文献

[1]翁佳南,李慕子,卢波,等.电力变压器严重受潮时围屏沿面爬电特性研究[J].电工电能新技术,2023,42(08):19-31.  
[2]张江辉.浅谈变压器绕组饼间爬电问题控制措施[J].变压器,2019,56(03):18-20.  
[3]宋家汉,黄凯杰,陈宇军,等.爬电距离与电气间隙测量的最短路径不合格分析研究[J].日用电器,2024,(06):132-137.  
[4]陈其勇,肖小军,谢文,等.浅谈电动自行车充电器中安全隔离变压器的电气间隙和爬电距离问题[J].日用电器,2023,(12):93-97.