

# 基于带电检测技术的高压开关柜绝缘故障自动诊断措施

吕 宝

**摘 要:** 在现代电力系统中, 高压开关柜用于控制和保护电网中的电力传输, 确保电能的高效和安全分配。然而, 随着电网的快速发展和负荷的不断增长, 高压开关柜的稳定性和可靠性面临着严峻的挑战, 其中绝缘故障尤为突出。受长期运行、环境因素以及设备老化等因素的影响, 高压开关柜的绝缘性能可能会逐渐降低, 甚至发生故障。作为一种非接触式的检测手段, 带电检测技术能在设备带电运行状态下进行实时检测, 无需停电即可获取设备的绝缘状态信息。基于此, 本文详细分析了基于带电检测技术的高压开关柜绝缘故障自动诊断措施。

**关键词:** 带电检测技术; 高压开关柜; 开关柜绝缘故障; 故障自动诊断

## 引言

通过对高压开关柜内部局部放电现象的监测, 可以在故障发生前发现潜在问题, 避免电力系统的重大事故。绝缘故障不仅会导致设备损坏, 还容易引起电力系统的大范围停电, 甚至触发安全事故, 给社会和经济带来重大影响。绝缘故障的原因多种多样, 包括绝缘材料的自然老化、环境因素, 如湿度和污染以及电气应力等。这些因素不仅影响着高压开关柜的绝缘性能, 还加速其损耗过程。因此, 为了确保电力系统的安全运行, 对高压开关柜绝缘故障进行有效的分析和处理显得尤为重要。

## 一、高压开关柜的作用

高压开关柜是一种专门用于控制、保护和监视电力系统的关键设备。高压开关柜的主要功能是对高压电路进行切断和接通, 它能够在电力系统异常情况下, 如过载或短路时, 及时切断或接通电路。这一功能对于保障电力系统的稳定运行、防止设备损坏以及保护电网安全至关重要。在正常运行条件下, 高压开关柜通过其内部的断路器、隔离开关和接地开关等组件, 确保电能的有效分配和输送。在发生故障时, 这些组件能迅速断开故障电路, 从而防止故障扩展, 保护电网和相关设备不受进一步损害。此外, 高压开关柜还具有监控和控制电网运行状态的功能。它装配有各种测量和保护装置, 如电流互感器、电压互感器、保护继电器等, 能够实时监测电路的电压、电流等参数, 及时检测和诊断系统中的异

常情况。这些监测数据对于电网运行的分析、优化和决策具有重要意义, 也为电力系统的远程控制和自动化管理提供了技术支持<sup>[1]</sup>。

## 二、绝缘故障在高压开关柜中的影响

绝缘故障在高压开关柜中的出现, 对电力系统的稳定和安全运行构成了严重威胁。高压开关柜的绝缘系统是保证其正常运行的关键, 它能够防止电气设备之间的短路和电流泄漏, 确保电能安全有效地输送。当绝缘系统出现故障, 会导致电气元件之间的电压击穿, 进而引发短路故障。这类故障不仅会造成开关柜内部元件的损坏, 还容易引起火灾、爆炸等严重后果, 对人员安全和设备完整性构成了极大威胁。从更广泛的视角来看, 高压开关柜中的绝缘故障还对整个电网造成连锁反应。绝缘故障导致重要节点的电力中断, 影响电网的供电可靠性, 甚至引发大规模停电事件。这不仅会对电力用户造成不便, 还对社会经济活动造成重大影响, 如影响工业生产、交通运输和公共服务等。因此, 理解和解决高压开关柜中的绝缘故障不仅是技术问题, 也是关乎社会经济稳定和可持续发展的重要议题<sup>[2]</sup>。

## 三、高压开关柜绝缘故障的原因

### 1. 机械机构精度不高

开关柜活门的开闭是由电动底盘车正向驱动活门推进机构实现的。经现场测量发现, 电动底盘车行进轮与两侧立面导轨之间最大间隙为10mm, 两者之间间隙过大, 导致了电动底盘车行进过程中左右摆动。底盘车上断路器两侧的活门机构推板左右进深不一致, 左右活门推进机构动作不同步, 造成活门倾斜, 致使活门与活门导杆之间出现卡滞现象。另外, 由于活门机构包括上下

**作者简介:** 吕宝 (1994.12—) 男, 汉族, 本科学历, 初级工程师, 主要从事检测电气方面的研究工作。

活门板、左右对称布置的活门滑动导杆、长短链条、上下机构拐臂、拐臂推动轴套以及拐臂支架等一系列机械零部件，开闭传动关节多，配合间隙大，且机械材质薄弱，频繁动作导致机构磨损也是传动动作变形卡滞的重要原因<sup>[3]</sup>。

### 2. 机械机构设计寿命过低

由于原中置可移开式交流金属封闭开关柜是由断路器固定安装开关柜演变而来的，设计理念倾向于断路器分合频繁而断路器小车较少进出的思路。为满足手动操作需要，断路器小车的进出动作机构设计在结构、材质和加工精度等方面只选择了机械寿命仅有千次的机构，与断路器数万次的机械寿命不匹配。

### 3. 缺少设备运行信息实时监控

开关柜操作单元原先是由操作人员现场手动操作，操作过程中可以现场感知机械机构卡滞、变形等情况，出现问题可以及时调整处理。改造后为电动执行机构，现场及后台操作人员无法及时掌握机械机构实时运行情况，不能实现故障预判，存在故障处理滞后的现象<sup>[4]</sup>。

## 四、常见的带电检测技术

### 1. 高频电流检测

变压器局部放电常用检测技术，通过检测铁心电流信号实现检测目标，得出的检测结果具有较高的参考价值，为此技术人员要分析技术应用原理，如图1所示，脉冲电流原理如图2所示，以便以科学的方式运用检测技术。技术应用中涉及高频传感器的使用，应分析传感器性能，确保其在-25 ~ 115℃环境中可正常运行，优先选择检测频率可调的传感器，保证传感器采集数据真

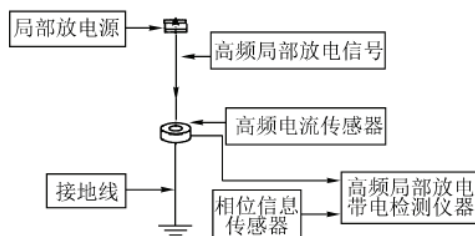


图1 高频电流检测原理

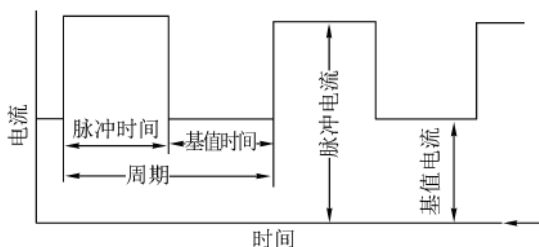


图2 脉冲电流原理

实准确，还要确保该传感器能够同时采集至少2路高频信号。要按照变压器局部放电检测需要，设计传感器的安装位置，控制变压器与带电部位的距离，并采取屏蔽措施保护传感器非检测面，以免带电检测结果受到干扰。应用该技术进行带电检测时，要合理控制检测时间，一般不应低于30min，如在检测中发现放电频率较低，应适当延长带电检测时间，以保证检测结果的准确性。为进一步提升该检测技术的应用效果，在检测过程中，要完整记录相关信息，包括设备位置、外部环境等<sup>[5]</sup>。

### 2. 超高频检测

在电力变压器局部放电检测中，超高频检测被广泛运用，具有较强的抗干扰能力，且能够适应不同环境下的变压器局部放电检测需要，帮助工作人员得出准确的检测结果。超高频检测技术可检测电信号范围为300 ~ 3000MHz，工作要按照变压器的性能，确定UHF传感器的安装位置，使其能够准确采集相关数据信息<sup>[6]</sup>。高频监测数据如表1所示。

表1 超高频监测数据

A相阻抗 (pC)	A相接地 (pC)	B相阻抗 (pC)	C相阻抗 (pC)	中性点 (pC)	铁心 (pC)
2016.2	1913	49.2	11.2	5623	583
2015.5	1847	49.4	7.8	5347	566

### 3. 超声波检测技术

超声波检测技术在开关柜局部放电带电检测作业中同样具有广泛范围。此项技术主要通过前置放大、降频（滤波处理）、功率放大等方式采集局部放电信号。通过释放超声波即可根据异常放电状态知晓故障情况。因开关柜局部放电信号采集阶段有信号衰减状况，因而运用该项技术时，需充分借助超声波传感器达成灵敏检测目的<sup>[7]</sup>。

## 五、基于带电检测技术的高压开关柜绝缘故障自动诊断措施

### 1. 故障排查和定位

在高压开关柜的绝缘故障处理中，故障排查和定位直接影响到故障处理的效率和准确性。故障排查的任务是快速而准确地识别出故障发生的位置和性质。这一过程通常需要综合运用各种检测技术和诊断方法。首先，可以通过视觉检查来识别明显的物理损坏，如烧蚀痕迹、裂纹或其他结构变形。对于不易直接观察到的内部故障，电气测试方法如绝缘电阻测试、介电损耗测试和局部放电测试能够提供关于绝缘材料性能的重要信息，帮助识

别潜在的故障点。例如，绝缘电阻测试可以快速评估绝缘材料的整体绝缘状态，而局部放电测试能够精确定位绝缘中的微小缺陷。其次，除了电气测试，高级的诊断技术如红外热成像、声发射检测和电磁波检测等也被广泛应用于故障排查和定位。红外热成像技术能够检测由于绝缘缺陷或过载而产生的热点，这对于早期识别潜在问题非常有效。声发射检测利用绝缘击穿或局部放电时产生的高频声波来定位故障点。电磁波检测技术通过分析绝缘故障产生的电磁波信号，进一步提高了故障定位的准确性和效率<sup>[8]</sup>。

## 2. 紧急处理措施

当高压开关柜出现绝缘故障时，需要采取有效的紧急处理措施，以确保系统安全并尽快恢复正常运行。紧急处理的首要步骤是立即切断受影响部分的电源，防止故障扩散和进一步的设备损害。这通常涉及操作断路器或隔离开关，以隔离故障区域。在安全断电后，进行现场安全评估，确保在无电压的条件下进行后续操作。对于严重的故障，如绝缘击穿或明显的物理损坏，应采取紧急隔离措施，并标记故障区域，避免非专业人员进入。然后进行初步的故障诊断，以确定故障的性质和原因。这一步骤可以依靠现场观察、简单的测试设备或便携式诊断工具完成。在紧急处理措施中，通讯和协调也发挥着关键作用。需要及时通知相关部门和人员，包括运维团队、安全管理人员和紧急服务人员。保持有效的沟通，可以确保所有相关方面得到适当的通知，以便采取相应的安全和补救措施。在处理过程中，还需记录故障发生的详细情况，包括故障时间、性质、所采取的措施和故障处理的结果。这些记录对于后续的故障分析和预防措施的制定非常重要<sup>[9]</sup>。

## 3. 维修和更换部件

在高压开关柜绝缘故障处理中，维修和更换部件的过程要求对故障部件进行精确诊断，并根据故障性质决定适当的修复方法或更换策略。在维修过程中，首先，要确定故障部件的具体类型和故障原因。对于一些绝缘故障，如绝缘材料的轻微破损或老化，通过修复原有的绝缘材料来恢复其性能。这包括使用专门的绝缘修复材料和技术，如绝缘树脂填充或绝缘涂层修补。如果故障

是由于绝缘材料严重损坏或绝缘性能无法恢复，如绝缘击穿或严重老化，那么需要更换故障部件。更换过程中，应选择与原设备相匹配或性能更优的绝缘材料和部件，以确保修复后的设备能够满足安全和性能的要求。在维修和更换部件的过程中，还需要遵循严格的安全和操作标准。确保所有维修工作在安全的条件下进行，这包括确保设备完全断电、使用适当的个人防护装备和遵循专业的工作程序<sup>[10]</sup>。

## 结束语

综上所述，基于带电检测技术的高压开关柜绝缘故障自动诊断方法为电力系统的稳定运行提供了强有力的技术支持。该方法通过实时监测和分析高压开关柜的带电状态，能及时发现潜在的绝缘故障，为运维人员提供准确的故障诊断信息。

## 参考文献

- [1] 李玲. 特高频定位技术在高压开关柜故障诊断中的应用研究[J]. 电子世界, 2021, (04): 198-199.
- [2] 郑小梅. 关于12kV高压开关柜绝缘故障分析[J]. 新型工业化, 2021, 11(01): 116-117.
- [3] 林艳. 高压开关柜绝缘事故分析及处理[J]. 电子世界, 2020, (12): 193-194.
- [4] 徐金龙. 高压开关柜监测与故障诊断分析[J]. 决策探索(中), 2020, (05): 71.
- [5] 李宁钢. 高压开关柜常见故障和检修维护[J]. 价值工程, 2020, 39(05): 244-245.
- [6] 尹嵩, 胡广俊. 高压开关柜绝缘事故的分析及防范策略的探讨[J]. 科技风, 2020, (01): 177.
- [7] 李尚坤, 王尚斌. 10kV高压开关柜常见故障和对策分析[J]. 南方农机, 2019, 50(20): 225.
- [8] 熊辉, 汪晶华. 10kV高压开关柜故障分析[J]. 科技创新导报, 2019, 16(18): 40-41.
- [9] 方胜兵. 高压开关柜监测与故障诊断分析[J]. 铝加工, 2019, (03): 55-57.
- [10] 兰剑, 李德阁, 王承玉, 等. 12kV高压开关柜绝缘故障典型案例分析[J]. 电器工业, 2019, (01): 73-78.