

# 变电站高压开关柜内部放电诊断及防范措施

陈泓岩 杨宇豪 庄勇 吴小刚  
国网银川供电公司 宁夏 银川 750001

**摘要:** 本文深入探讨了变电站高压开关柜内部放电的原理、类型及其诊断方法,并提出了相应的防范措施。通过分析内部放电的物理过程和常见类型,揭示了放电现象对高压开关柜安全运行的潜在威胁。文章进一步介绍了传统与现代的诊断技术,包括电气测量法、脉冲电流法、超声波检测技术、暂态地电压检测技术和特高频局部放电检测技术,为准确识别放电故障提供了技术手段。最后,从设计、制造安装和运行维护三个阶段出发,提出了针对性的防范措施,旨在提高高压开关柜的安全性和可靠性。

**关键词:** 变电站; 高压开关柜; 内部放电; 诊断方法; 防范措施

## 引言

高压开关柜作为变电站的重要组成部分,其安全稳定运行对于整个电力系统的可靠供电至关重要。然而,由于设计、制造、安装及运行环境等多方面因素,高压开关柜内部放电现象时有发生,严重威胁着设备的安全和寿命。因此,深入研究高压开关柜内部放电的原理、类型及其诊断方法,并提出有效的防范措施,对于保障电力系统的稳定运行具有重要意义。

## 1 变电站高压开关柜内部放电的原理及类型

### 1.1 内部放电的基本原理

高压开关柜内部放电是一种复杂的物理现象,主要涉及电场不均匀分布和绝缘介质老化等因素。在高压电场作用下,若电场分布不均匀,某些区域的电场强度会相对较高,容易引发放电。此外,绝缘介质在长时间的高压和恶劣环境作用下会逐渐老化,其绝缘性能下降,也容易导致放电现象的发生。放电过程中,高能电子和离子在电场作用下加速,撞击绝缘介质表面或内部缺陷,导致介质分解、击穿,进而产生放电通道,形成放电现象。

### 1.2 常见的放电类型

(1) 局部放电。局部放电是指在高压开关柜内部绝缘介质中,由于电场强度分布不均匀或绝缘材料内部存在缺陷,导致在局部区域发生的放电现象。其特点为放电能量较小、持续时间短,但频繁发生会对绝缘介质造成累积性损伤。局部放电的产生原因主要包括绝缘材料内部的气泡、杂质、裂纹等缺陷,以及电极表面的毛刺、不平整等。(2) 沿面放电。沿面放电是指放电沿着绝缘结构表面进行的现象,当绝缘结构表面的电场强度超过一定限值时,就会发生沿面放电。影响沿面放电的因素主要包括绝缘表面的污垢、湿度、粗糙度等。这

些因素会导致绝缘表面电场强度分布不均,进而引发放电;沿面放电对绝缘结构的破坏性较大,容易导致绝缘击穿和短路故障。(3) 电晕放电。电晕放电是指在高压电场作用下,电极周围形成的光晕状放电现象。其特征是在电极周围出现蓝色的光晕,并伴有嘶嘶声;电晕放电的产生与电极形状、电场分布等因素密切相关。当电极形状不规则或电场分布不均匀时,容易引发电晕放电;电晕放电虽然对绝缘介质的直接破坏性较小,但长期存在会加速绝缘老化,降低设备的绝缘性能<sup>[1]</sup>。

## 2 变电站高压开关柜内部放电的诊断方法

### 2.1 传统诊断方法

(1) 电气测量法。电气测量法是一种通过测量绝缘电阻、泄漏电流等电气参数,分析其变化情况来判断高压开关柜内部是否存在放电现象的方法;这种方法操作简单,易于实施,是早期放电检测的基本手段之一,但电气测量法也存在一定的局限性。由于放电现象往往发生在绝缘介质的局部区域,且放电能量较小,因此电气测量法对早期放电的诊断不够敏感,容易漏检;电气测量法受环境因素影响较大,如温度、湿度等变化都可能对测量结果产生干扰。(2) 脉冲电流法。脉冲电流法是一种通过检测高压开关柜内部放电时产生的脉冲电流来判断放电程度的方法。其原理是:当放电发生时,会产生瞬时的电流脉冲,通过检测这个脉冲电流的大小和频率,可以推断出放电的严重程度。脉冲电流法通常需要使用专门的检测装置,如脉冲电流传感器和示波器等;这种方法对放电现象的检测较为敏感,能够捕捉到微小的放电信号。在实际应用中,脉冲电流法也面临一些挑战,如信号干扰的排除;由于变电站环境中存在大量的电磁干扰,如何有效地滤除这些干扰信号,提取出真实的放电信号,是脉冲电流法需要解决的关键问题<sup>[2]</sup>。

## 2.2 现代诊断技术

(1) 超声波检测技术是一种利用超声波在介质中传播的特性来检测高压开关柜内部放电现象的方法。当放电发生时,会产生超声波信号,这个信号可以在绝缘介质中传播,并被超声波传感器接收。通过分析超声波信号的频率、振幅和传播时间等参数,可以判断放电的位置和程度。超声波检测技术具有抗电磁干扰能力强、可实现局部放电定位等优势,特别适用于复杂电磁环境下的放电检测;超声波检测技术还可以与电气测量法、脉冲电流法等方法结合使用,提高放电检测的准确性和可靠性。(2) 暂态地电压检测技术是一种利用高压开关柜内部放电时产生的暂态地电压信号来检测放电现象的方法。暂态地电压是由于放电过程中电荷的移动和重新分布而产生的,其大小与放电的严重程度密切相关;通过检测暂态地电压的大小和变化规律,可以判断高压开关柜内部是否存在放电现象。但暂态地电压检测技术也存在一定的局限性,如对某些放电类型的检测效果较差;例如,对于沿面放电和电晕放电等放电类型,由于其产生的暂态地电压信号较弱,因此检测难度较大。(3) 特高频局部放电检测技术是一种利用特高频电磁波来检测高压开关柜内部放电现象的方法。当放电发生时,会产生特高频电磁波信号,这个信号可以在空气中传播,并被特高频传感器接收;通过分析特高频电磁波的频率、振幅和相位等参数,可以判断放电的类型、位置和程度。特高频局部放电检测技术具有检测灵敏度高、抗干扰能力强等优势,特别适用于微弱放电信号的检测。与其他检测技术相比,特高频局部放电检测技术能够更准确地识别放电类型,并提供更丰富的放电信息。在实际应用中,特高频局部放电检测技术已经取得了显著的成效,为高压开关柜的安全运行提供了有力的保障。

## 3 变电站高压开关柜内部放电的防范措施

### 3.1 设计阶段的防范措施

#### 3.1.1 合理的绝缘结构设计

绝缘结构设计在高压开关柜中占据核心地位,其合理性直接关系到设备的稳定运行与安全性。(1) 在绝缘材料的选择上,需严格筛选具备优异电气性能、高强度机械特性及良好热稳定性的材料,以确保在持续高压电场作用下,绝缘层不会发生击穿或加速老化,从而维持长期的绝缘效果。(2) 绝缘距离的设定是设计中的另一关键环节。必须依据电气安全标准,精确计算并设定电极间及电极与地之间的最小安全距离,以确保电场分布均匀,避免因局部电场强度过高而引发的放电现象。(3) 开关柜内部结构的优化同样不可忽视。设计中应采

用圆角过渡、避免尖锐边角等设计手法,以有效分散电场,减少电场集中点,进而降低放电风险。(4) 绝缘结构设计还需紧密结合开关柜的实际运行条件,如额定电压、电流及环境温度等,通过先进的仿真软件进行电场分布模拟与绝缘性能评估,确保设计方案的科学合理与切实可行,为高压开关柜的安全运行提供坚实保障<sup>[3]</sup>。

#### 3.1.2 良好的密封设计

(1) 密封设计在高压开关柜的制造与维护中占据至关重要的地位,它直接关系到设备内部环境的纯净度与绝缘性能的持久性。为实现开关柜内部的干燥、清洁,必须精心选择密封材料与工艺。密封材料需具备卓越的耐候性,能抵御各种恶劣气候的侵袭;还应具备优异的耐腐蚀性,以防止在潮湿、腐蚀性环境中发生老化或破损。密封材料还应具备足够的机械强度,以承受设备运行过程中的振动与冲击,确保密封效果的长期稳定。(2) 在密封设计的过程中,我们还应全面考虑开关柜的散热问题。高压开关柜在运行时,由于电流的热效应,会产生一定的热量;若散热不良,内部温度将逐渐升高,对绝缘材料造成损害,甚至引发放电现象。密封设计需与散热设计紧密结合,既要确保密封性,又要保证散热性;应在密封结构中合理设置散热通道,如采用导热性能良好的材料填充密封间隙,或设计特殊的散热结构,以引导热量迅速散出。还应配置相应的散热装置,如风扇、散热片等,以进一步提高散热效果,确保开关柜内部温度始终控制在安全范围内。

## 3.2 制造和安装阶段的防范措施

### 3.2.1 严格的质量控制

(1) 原材料和零部件的质量直接影响高压开关柜的绝缘性能和机械性能。在制造过程中,应对原材料和零部件进行严格的检验和测试,确保其质量符合要求;特别是对于绝缘材料、导电材料和密封材料等关键部件,更应加强质量控制,避免使用劣质材料导致的放电现象。(2) 在制造过程中还应加强工艺控制。应制定详细的制造工艺流程和质量控制标准,对每一道工序进行严格把关,确保制造过程的规范性和一致性;对于关键工序和特殊工艺,还应进行专门的培训和技能考核,提高操作人员的技能水平。

### 3.2.2 规范的安装操作

(1) 规范的安装操作是确保高压开关柜内部放电有效防范的关键步骤。在安装过程中,必须严格遵循安装规程和图纸要求,确保每一个部件都能准确无误地安装在预定位置,且连接牢固可靠。特别是电极、绝缘件和密封件等关键部件的安装,更需细致入微,任何安装不

当都可能成为放电现象的诱因。(2)安装完成后,调试和检验工作同样不容忽视。应对开关柜进行全面细致的外观检查,确保无损伤、无变形;进行温度测量,以验证设备在正常运行时的温度分布是否合理;进行绝缘电阻测试,以评估绝缘性能是否满足要求。对于在调试和检验过程中发现的问题和隐患,必须立即采取整改措施,及时排除,确保设备在投入运行前达到安全可靠的标准<sup>[4]</sup>。

### 3.3 运行维护阶段的防范措施

#### 3.3.1 定期的巡检和维护

(1)巡检和维护工作是确保高压开关柜长期稳定运行的基础。应制定详细的巡检计划和维护规程,定期对开关柜进行外观检查、温度测量、绝缘电阻测试等项目的巡检和维护工作。通过巡检和维护,可以及时发现设备存在的问题和隐患,并采取相应的措施进行整改和排除。(2)在巡检过程中,应特别注意观察开关柜的内部环境情况,如是否存在水汽、灰尘等杂质,以及绝缘件和密封件的状态是否良好。对于发现的问题和隐患,应及时进行记录和报告,并按照相关规定进行处理。(3)还应定期对开关柜进行清洁工作。应使用干净的布或吸尘器对开关柜的内部进行清洁,去除灰尘和污垢等杂质;在清洁过程中,应注意避免使用湿布或化学溶剂等可能对绝缘性能造成影响的物品。

#### 3.3.2 状态监测和故障诊断

(1)状态监测和故障诊断技术是防范高压开关柜内部放电的重要手段。通过采用在线监测技术,可以实时监测开关柜的运行状态,及时发现放电迹象;在线监测技术主要包括局部放电监测、温度监测和绝缘电阻监测等。(2)局部放电监测技术是通过检测开关柜内部的局部放电信号来判断是否存在放电现象。这种技术可以实时监测放电的幅值、频率和相位等参数,为故障诊断提供重要依据;温度监测技术是通过测量开关柜内部的温度来判断设备的运行状态;如果温度过高,可能意味着存在放电现象或散热不良等问题。绝缘电阻监测技术是通过测量开关柜的绝缘电阻来判断绝缘性能是否良好;如果绝缘电阻降低,可能意味着存在绝缘老化或击穿等问题。(3)除了在线监测技术外,还可以建立故障诊断

系统对监测数据进行分析和处理。通过采用先进的算法和模型,可以对监测数据进行深入挖掘和分析,准确判断故障类型和位置;故障诊断系统还可以结合历史数据和经验知识,为维修人员提供故障处理建议和解决方案<sup>[5]</sup>。

#### 3.3.3 环境控制

(1)环境控制是确保高压开关柜稳定运行、防范内部放电的关键环节。针对开关柜的运行环境,我们必须严格控制温度、湿度等关键参数,以消除环境因素对设备安全的潜在威胁。特别是在温度控制方面,必须确保开关柜内部温度维持在合理区间,以避免因温度过高而加速绝缘材料的老化,甚至引发击穿等严重问题。(2)改善开关柜的通风条件也是环境控制的重要一环。我们应合理布局通风口与通风装置,确保柜内空气流通顺畅,有效降低设备运行时产生的热量。在夏季高温或设备高负荷运行时,还需采取额外的降温措施,如利用空调、风扇等设备,进一步降低开关柜内部温度,确保设备处于最佳运行状态。

#### 结语

本文通过对变电站高压开关柜内部放电的深入研究,揭示了放电现象对设备安全运行的潜在威胁,并提供了多种有效的诊断和防范措施。这些措施的实施将有助于提高高压开关柜的安全性和可靠性,为电力系统的稳定运行提供有力保障。未来,随着科技的不断进步和新型检测技术的不断涌现,高压开关柜内部放电的诊断和防范将更加精准和高效。

#### 参考文献

- [1]李萍,孙庭岚,黄锟等.高压开关柜作业安全风险分析与防范[J].电力安全技术,2020,18(11):12-14.
- [2]赵冀.高压开关柜安全操作规程及事故案例解析[J].机电信息,2020(12):95,97.
- [3]杜中华.高压开关柜过热原因探析及监测措施研究[J].中国高新技术企业,2020(24):83-84.
- [4]彭美蓉.高压开关柜风险防范措施[J].大科技,2020(32):109-110.
- [5]郭陆,张广东,胡春江,等.10 kV开关柜局部放电测量与缺陷分析[J].电工技术,2020(2):110-112.