

# Analysis of Finding and Troubleshooting Methods of High Voltage Cable Insulation Low Resistance Fault

Yong Zeng Zhaojun Li

State Grid Ningxia Electric Power Company Yinchuan Power Supply Company, Yinchuan, Ningxia, 750010, China

## Abstract

As a crucial link in the power transmission, the insulation performance of the high-voltage cable is directly related to the safe and stable operation of the power system. Cable low resistance failure is one of the common faults of high voltage cable. This paper analyzes the cable materials, construction and installation, environmental factors and other reasons causing the cable low resistance. Combined with the fault diagnosis techniques such as insulation resistance measurement, dielectric spectrum analysis and local discharge detection, a series of troubleshooting methods, including cable drying treatment, local defect repair, insulation material update, and the protective maintenance strategies in line with the actual field.

## Keywords

high-voltage cable; insulation resistance; fault diagnosis; troubleshooting method

## 高压电缆绝缘低阻故障的查找与排查方法分析

曾勇 李昭君

国网宁夏电力公司银川供电公司, 中国·宁夏 银川 750010

## 摘要

作为电力传输中至关重要的一环, 高压电缆的绝缘性能优劣与电力系统的安全稳定运行有着直接的关系。电缆低阻故障是高压电缆的常见故障之一, 文章通过对造成电缆低阻原因的电缆材料、施工安装、环境因素等原因进行分析。结合绝缘电阻测量、介电谱分析、局部放电检测等故障诊断技术手段, 提出了包括电缆干燥处理、局部缺陷修复、绝缘材料更新等一系列排除故障的方法, 及符合现场实际的防护性维护策略。

## 关键词

高压电缆; 绝缘电阻; 故障诊断; 排除方法

## 1 引言

高压电缆是电力系统的重要组成部分。绝缘性能的优劣直接关系到电源的可靠性和安全性, 绝缘电阻低可能导致电缆过热、短路甚至引发火灾, 造成巨大的经济损失和安全隐患, 是高压电缆的常见故障之一。因此, 研究高压电缆绝缘电阻低故障的查找和排除方法至关重要, 对确保电力系统稳定运行具有重要的现实意义和应用价值。文章旨在对高压电缆绝缘电阻低故障的原因进行深入分析, 并对故障诊断和排除的有效方法进行系统的探讨。

## 2 高压电缆绝缘电阻低故障成因分析

### 2.1 电缆材料因素

高压电缆的绝缘材料通常由聚合物材料构成, 如交联

聚乙烯 (XLPE)、乙丙橡胶 (EPR) 等。这些材料在长期运行过程中, 会因为热、光、化学作用以及机械应力等因素发生老化, 导致绝缘性能下降。材料的老化表现为分子链断裂、交联密度变化, 从而增加了材料的导电性, 降低了绝缘电阻。材料中的杂质、气泡或不均匀的交联也会影响其绝缘性能。因此电缆材料的选择、制造过程的控制以及材料的长期稳定性是确保电缆绝缘性能的关键因素。

### 2.2 施工安装问题

在施工安装过程中出现的不当操作也是造成高压电缆绝缘电阻低的常见原因, 在敷设电缆时如果受到过度的拉伸或弯曲或扭曲, 使绝缘层出现裂纹或断裂现象是比较常见的; 另外对于电缆接头的制作不规范, 如未使用合适的绝缘材料、密封不良或应力锥制作不当等, 都有可能造成绝缘弱点的产生; 在施工过程中的疏忽, 如在潮湿环境下进行接头施工, 绝缘层未充分的干燥, 或在接头部位留下了金属屑等, 也都有可能造成绝缘性能的降低; 因此规范施工操作, 加强施工人员安技培训, 采用合适的施工材料和工具, 是保证电

【作者简介】曾勇 (1974-), 男, 中国宁夏银川人, 本科, 高级技师, 从事电缆三头制作、电缆故障分析、输电电缆运维技术研究。

缆绝缘性能的关键<sup>[1]</sup>。

### 2.3 环境因素影响与综合分析建议

高压电缆的运行环境对其绝缘性能同样有显著影响。长期暴露在潮湿、化学腐蚀性或高温环境中，会加速电缆绝缘材料的老化过程。水分是影响电缆绝缘性能的主要环境因素之一，它可以通过扩散或毛细作用渗透到绝缘层内部，降低材料的绝缘强度。化学腐蚀性气体或液体会侵蚀绝缘材料表面，在形成水树枝的同时导致表面电阻降低。温度波动也会对电缆绝缘材料产生影响，高温可能加速材料老化，而低温可能导致材料变硬变脆。因此合理选择电缆的运行环境、采取适当的防护措施以及定期进行环境监测是预防绝缘电阻低故障的重要手段。

## 3 故障诊断技术

### 3.1 绝缘电阻测量

绝缘电阻测量是对高压电缆绝缘状态进行评估的一种基本的、广泛应用的诊断技术，该技术通过测量在直流电压作用下电缆绝缘材料的阻值，从而使其绝缘性能得以体现。绝缘电阻的测量结果一般以“MΩ”为计量单位，它的大小与绝缘材料的绝缘强度有直接的联系。在实际应用中，为了保证结果的准确可靠，测量时应在控制的环境条件下进行，测量结果会受到温度、湿度等环境条件的影响。测量绝缘电阻不仅可以用来识别绝缘性能下降，还可以预测潜在的绝缘故障，并通过趋势分析进行测量<sup>[2]</sup>。

### 3.2 介电谱分析

作为一项先进尖端的诊断技术，检测方法电介电质谱学分析越来越广泛正日益普遍地应用于电力系统网络的维护和保养以及电子设备仪器的维护。该项技术通过测量对不同频率下绝缘材料物质的介电常数容率和介电损耗进行分析，结合传统绝缘电阻的方法进行测试，展现出材料内部的空泡微小气孔、裂缝痕以及水分侵入渗透等微观缺陷瑕疵。这些缺陷通常很难被发现检测到。虽然电介电质频谱分析需要专业诊断且依赖于高级的测试设备工具和复杂烦琐的数据处理流程，但通过信息分析步骤维护了电力系统和网络与电子设备器械的可靠稳定性和安全与防护性，介电谱分析该诊断手段所提供的关于绝缘状况的深入和全面信息是详尽且广泛资料成为不可或缺的一环。随着科学技术的进步发展和设备成本仪器费用的降低，为绝缘减少对隔热材料提供实施更有效的状态监测和故障诊断支持情况追踪与缺陷鉴定援助，在未来介电光谱分析有望预计将获得更广泛的应用。

### 3.3 局部放电检测

高压电缆绝缘缺陷识别与定位的另一种有效手段是局部放电（PD）检测。在气隙、杂质或水分侵入处等绝缘材料的局部弱点常发生局部放电。通过使用局部放电检测仪，对这些放电事件产生的电磁信号进行捕捉和分析，从而对故

障点进行精确定位。局部放电检测技术包括多种方法，如电脉冲法（EPA）、超声波法（UHF）、光测法等。通过测量放电事件所产生的瞬态电流脉冲，EPA方法对PD活动进行检测；UHF的方法是通过PD事件产生超声波信号的检测；光测定律是通过PD事件所产生的光辐射进行检测。这些方法各有千秋，在提高故障检测的精确性和可靠性方面可以互为补充。

### 3.4 综合应用与分析

在实际应用中，对高压电缆绝缘状态的综合评价往往是单一的故障诊断技术难以做到的。要得到更精确的诊断结果，通常需要多种技术的综合应用。对绝缘性能下降严重的电缆段，可采用绝缘电阻测量作为初筛快速识别；电介质对于老化、变质趋势的电缆本体及附件提供了更深入的材料特性分析；而局部放电检测则能对故障点进行精确定位，提供了修复、更换的基础。通过这些技术的共同使用，有效提高高压电缆的运行安全性和维护效率，构建起综合故障诊断系统。

## 4 故障排除方法

### 4.1 电缆干燥处理

电缆干燥处理是对因水分侵入导致的绝缘电阻降低问题采取的有效排除方法，因为水分会使绝缘材料的绝缘强度降低，增加导电性，造成电缆性能下降，所以采用真空热循环法进行干燥处理，通过加热电缆并抽真空，使热量把水分蒸发掉，并通过真空使水的沸点降低，以加快水分的去除速度。在干燥过程中，对温度和压力进行严格控制，避免对电缆绝缘材料造成热损伤，然后进行绝缘电阻和介电谱的测试，以验证干燥处理的效果，使电缆绝缘性能恢复到安全水平，通过测试后，确保绝缘性能不再发生变化<sup>[3]</sup>。

### 4.2 局部缺陷修复

局部缺陷修复是针对电缆绝缘材料出现的微小损伤或缺陷，如划痕针孔等，以消除这些缺陷来避免电压击穿局部放电造成电缆故障的修复办法。主要有机械打磨、局部补强及绝缘涂层的涂抹等步骤。机械打磨可把表面出现的小瑕疵去掉，恢复绝缘材料的完整性；而局部补强则添加绝缘材料如环氧树脂或硅橡胶垫片，使绝缘性能得到提高；在修复区域表面涂上绝缘涂料，以形成保护层防止水分和污染物的侵入；最后还要做局部放电测试，确保修复区域不再出现异常放电现象。

### 4.3 绝缘材料更新

对老化或损坏严重的电缆进行绝缘更新，绝缘材料更新包括将旧的绝缘层去除，将新的绝缘层重新包裹起来，并对绝缘层进行相应的处理。更新过程需要专业的技术和设备来确保新的绝缘层与导体和护层之间的界面结合牢固，并且新的绝缘材料符合电缆的电气性能和机械性能要求，新的绝缘层与导体和护层之间更新绝缘材料后，进行包括绝缘电阻

测量、介电谱分析、局部放电检测等在内的综合性能测试,以验证更新效果,确保电缆总体性能达到或超过最初设计标准。

#### 4.4 综合考虑与实践

针对根据电线电缆的实际具体情况以及问题的紧急性质来进行处理应对。面临极端不确定性的情况下对于轻微度的潮湿侵袭气渗透,可以通过采取烘干手段来解决措施加以应对;面对局部的隔离绝缘伤害,这些微小缺陷便能得到补救瑕疵是可以修复的;对于那些陈旧过时或严重受损坏的电缆线,就必须更换其保护层,这使外壳成为一项不可回避必须面对的任务工作。在挑选排障隔离技术方案时对于电缆操作线施工的成本效益分析、实施执行的可能性性以及其带来可能引发的后结果等诸多因素也同样重要,不应进行忽视。

### 5 预防性维护策略

#### 5.1 定期检测与评估

通过准周期性的检测审查和评估,识别潜在故障量,发现可能出现的缺陷和性能退化衰减是预防性保养维护的核心关键所在。对于高压输电电缆而言,定周期分析性评估介电介质频常数谱、监测局放等找出运行电缆放电行为等,不仅可以协助及时发现迅速侦测出绝缘性能下降力衰退的情况,还可以透过趋势分析评估来对今后将来的失效故障风险进行做出预判。根据线电缆的运行状况、历史过往的故障率、厂家推荐等发生频次以及制造商的建议合理安排规划定检查的周期检测频率。

#### 5.2 环境控制保护与维护周期计划

高压电缆的运行环境对其绝缘性能影响非常大,所以环境的控制与保护是预防性维护策略中必不可少的一部分,这就涉及到防止化学腐蚀避免机械损伤控制周围环境的湿度和温度等各个方面的问题。比如如果高压电缆在化工厂附近安装的话,为了抵御化学蒸汽的侵蚀,对电缆进行一些特殊的防护措施是十分有必要的;另外对于处于比较潮湿的环境条件下的高压电缆而言,为了延长它的使用寿命并降低维护成本,可能就需要比较频繁的干燥处理或者是一些特殊的防潮设计等等。

维护周期的设定要兼顾电缆的使用状况,所处的运行环境以及以往所做的维护数据分析得出的结果。有合理的维护周期可以在一定程度上做到防患于未然,避免意外停电及

紧急维修的情况发生。在维护方案上要详细列出每项维护活动的内容和执行标准,包括但不限于对部件进行清洁保养的周期及对连接件进行紧固的检查及更换有损坏的部件等。另外维护方案中还要对维护人员进行必要的培训,使其在执行维护作业时能正确进行维护操作并识别潜在的故障迹象。

#### 5.3 故障分析与改进

预防性的维护战略,除上述措施之外,还应包括对以往历史故障的深入分析以及由此带来的持续改进。对故障模式和原因进行深入的分析,能够对维护战略中存在的问题进行有效的识别,从而在检测手段上加以改进,在施工工艺上进行相应的调整,或者对原有的维护方案进行更新。对历史故障的分析也能够提供更为精确的维护周期,做到因势利导地避免过度的维修,在维护资源上做到合理分配。在实施预防性的维护战略中,对以往历史故障的深入分析是不可或缺的。

随着技术的发展,智能化的监控诊断工具为预防性维护提供了新的思路和途径,如使用带有传感器的智能电缆,可对电缆状态进行实时监测,并通过数据分析对潜在的故障进行分析和预测。另外将无人机巡检和机器人自动化检测等新技术与预防性维护策略相结合,可以提高检测的效率和精确性,使高压电缆的可靠性和经济性得到进一步的提升。通过不断应用这些新技术,确保电力输送的安全可靠。

### 6 结论

主要对高压电缆低阻故障成因进行系统分析,从电缆材料施工安装以及环境因素三个方面入手;对故障诊断技术进行论述,从绝缘电阻测量介电谱分析和局部放电检测等方面提出有效的故障排除办法,提高了高压电缆的绝缘性能和可靠性。同时对新型绝缘材料和施工技术进行进一步探索,以应对不断变化的气候条件和运行需求;并通过对电缆在极端环境下性能的研究,增强高压电缆的运行安全性和电力系统的稳定性。

#### 参考文献

- [1] 蔡志坚.智能化平台在输电线路运检系统中的应用研究[J].电工技术,2023(S1):7-9.
- [2] 辛月来,张美琦,林铨.高压电缆绝缘电阻低故障的查找与排除方法分析[J].电子测试,2022,36(14):109-110+139.
- [3] 丁世峰.高压电缆绝缘电阻低故障的查找与排除办法研究及应用[J].中小企业管理与科技(中旬刊),2015(8):255-256.