

# 220kV 变电站复杂直流接地的分析与处理

石静

内蒙古电力(集团)有限责任公司包头供电分公司变电管理二处

**【摘要】**本文通过对一起220kV变电站复杂直流接地故障的处理过程进行分析,全面阐述了复杂直流接地的成因、诊断方法以及改进措施。研究发现,设备老化、系统设计缺陷、外部环境影响以及人为操作失误是导致直流接地的主要原因。本文结合故障案例,介绍了通过拉路排查、遥信回路修复和电流互串问题整改等方法解决接地问题的实践经验,并提出了针对性建议,以提升变电站运行的可靠性和安全性。

**【关键词】**220kV变电站;直流接地;故障诊断;改进措施

Analysis and treatment of complex DC grounding in 220kV substation

Shi Jing

Inner Mongolia Electric Power (Group) Co., LTD. Baotou power supply branch substation management two

**【Abstract】**This paper analyzes the processing process of a complex DC grounding fault in 220kV substation, and expounds the causes, diagnostic methods and improvement measures of complex DC grounding comprehensively. It is found that equipment aging, system design defects, external environment impact and human operation error are the main causes of DC grounding. Based on the fault cases, this paper introduces the practical experience of solving the grounding problems through the pull road investigation, remote communication loop repair and current interstring problem rectification, and puts forward targeted suggestions to improve the reliability and safety of substation operation.

**【Key words】**220kV substation; dc grounding; fault diagnosis; improvement measures

## 一、引言

220kV 变电站是电力系统的重要节点,其直流系统运行的稳定性直接关系到电网的安全可靠。然而,直流系统的接地问题常常成为限制其性能的重要隐患。复杂直流接地现象多由设备老化、设计缺陷、外界干扰和人为操作失误共同作用引发,表现为多点接地或虚假接地的复杂情况。这不仅会导致继电保护装置的误动或拒动,还可能加速设备老化、增加维护成本,甚至威胁电网的安全性。本文通过对实际案例的深入分析,总结了复杂直流接地问题的成因及改进措施,并提出了科学的管理与技术优化建议。

## 二、220kV 变电站直流接地问题概述

220kV 变电站是电力系统中至关重要的节点,其稳定运行直接关系到电力输送的可靠性和安全性。然而,在实际运行中,直流系统接地问题常常成为制约其性能的主要隐患。直流接地,简单来说,是指直流回路中某一处或多处对地绝缘性能降低,导致非预期的电流路径形成。这种现象可能因单点接地、多点接地或复杂接地而表现出多样化的特性。直流接地问题主要涉及两大方面:一是技术层面的电气特性问题,二是运行管理中的操作问题。其复杂性和隐蔽性给问题的排查和解决带来了很大的挑战。

## 三、220kV 变电站复杂直流接地的原因分析

### 3.1 设备问题

#### 3.1.1 电缆老化与损坏

在 220kV 变电站中,电缆是直流系统的重要组成部分,承担着输送和连接设备的重要任务。然而,随着设备运行时间的增加,电缆不可避免地会因外界环境和内部因素的影响而老化。这种老化主要表现为绝缘材料的性能退化,包括耐电压能力下降和机械强度减弱。在老化的过程中,电缆表层可能因潮湿、温度波动或化学腐蚀而出现裂纹或孔隙,这些缺陷为直流接地问题的产生提供了通道。与此同时,长期的电气应力可能导致局部放电现象,从而进一步破坏电缆的绝缘性能。

#### 3.1.2 直流系统设备绝缘下降

除了电缆,直流系统中其他设备的绝缘性能下降也是造成接地问题的重要因素。例如,控制器、变压器和断路器等设备的绝缘部件在高频使用或外界污染环境容易受到损坏。一些设备可能因维护不当或使用不规范而导致绝缘性能急剧下降,增加了直流接地的隐患。设备问题的多样性和不可预测性使得直流接地问题更加复杂化,因此定期的设备巡检和维护显得尤为重要。

### 3.2 系统设计问题

#### 3.2.1 接地网设计不足

接地网是变电站直流系统接地保护的核心部分,其设计是否合理直接决定了接地问题的发生概率。一些变电站在设计阶段未能充分考虑区域土壤电阻率的特性,导致接地网无法有效分散接地电流。此外,接地网的扩展能力有限,随着站内设备的增加,其原有设计可能无法满足新的运行要求,容易导致局部接地电阻过高,形成接地隐患。

#### 3.2.2 绝缘配置与防护设计缺陷

直流系统的绝缘配置与防护设计若存在不足,也会为复

杂接地问题埋下隐患。例如,某些场景下未能充分考虑直流高电压的耐压需求,导致设备的绝缘性能无法满足长期运行条件。此外,防护设计未能覆盖可能的接地点,例如金属外壳、端子连接点等,也会增加多点接地问题的发生概率。因此,在系统设计阶段,需要充分预见各种可能的接地风险,并设计出有效的防护机制。

### 3.3 外部因素

#### 3.3.1 环境湿度与温度的影响

变电站运行环境中的湿度和温度对直流系统的绝缘性能有着显著影响。高湿度环境会导致设备表面出现凝露现象,从而降低绝缘强度,形成泄漏电流路径。而温度的剧烈波动可能引发设备的热胀冷缩现象,使得绝缘材料容易出现裂纹。此外,极端环境条件如暴雨、雪融和高盐雾环境,也会加速设备的老化和绝缘性能退化。

#### 3.3.2 电磁干扰(EMI)

外部的电磁干扰是导致复杂直流通地问题的重要外因之一。电磁干扰可能来自变电站内的高频设备,也可能是外界雷击或大电流线路运行产生的干扰。这些干扰可能通过感应或辐射形式影响直流设备的正常运行,导致保护装置误动、设备失效等问题,从而引发复杂接地现象。

### 3.4 人为操作问题

#### 3.4.1 误操作导致的接地隐患

运行人员在操作过程中发生的失误是导致直流通地问题的重要原因。例如,在日常操作中未能按照规范断开或连接设备,可能导致绝缘损坏或接地电路形成。此外,一些人员因缺乏专业培训,未能正确判断设备的接地状态,增加了隐性接地问题发生的可能性。

#### 3.4.2 检修过程中的不当处理

检修过程中若未能充分考虑设备的接地特性或未使用专业工具,可能会导致新的接地点形成。例如,在进行设备更换时未注意接地网的完整性,可能造成接地系统短路。此外,部分检修人员未能严格遵守作业规程,在未断开电源的情况下进行操作,也可能导致接地问题的恶化。提高人员操作水平和作业规范性是减少人为接地隐患的关键。

## 四、复杂直流接地的诊断与检测技术

### 4.1 传统检测方法

#### 4.1.1 电流法

电流法是诊断直流通地问题的基础方法之一,其原理是通过测量直流回路中的异常电流值,判断是否存在接地现象。这种方法适用于快速初步定位接地点,尤其在单点接地情况下效果较好。然而,在复杂接地问题中,多个接地点可能导致电流分布复杂,增加了定位难度。此外,电流法无法对接地点的绝缘性能和故障性质提供详细信息,限制了其适用范围。

#### 4.1.2 电压法

电压法是通过测量直流系统中不同节点的对地电压,来判断接地故障的位置与严重程度。正常情况下,直流系统的对地电压应在设定范围内波动,当出现接地时,对地电压将发生异常变化。相比电流法,电压法对多点接地问题具有更

高的敏感性,但其精度受接地电阻和负载条件影响较大,可能导致误判。此外,电压法需要在系统运行中测量,存在一定的操作风险。

#### 4.1.3 绝缘电阻测试

绝缘电阻测试是评估直流系统整体绝缘性能的重要手段,其原理是通过在回路中施加测试电压,测量绝缘层的电阻值来判断接地情况。绝缘电阻测试对设备绝缘老化、受潮等问题具有较高的敏感性,能帮助发现潜在隐患。然而,这种方法通常需要在系统停电状态下进行,不适用于在线监测,因此难以满足实时性需求。

### 4.2 现代检测技术

#### 4.2.1 红外成像检测

红外成像检测是近年来应用于直流通地诊断的新技术,其通过监测设备表面的温度分布,识别可能的接地点。接地故障通常会引起局部过热现象,而红外成像能够无接触地快速捕捉这些异常。相比传统方法,红外成像检测具有高效、直观的特点,尤其适用于大型变电站的全景扫描。然而,其检测结果易受环境温度和表面反射率的影响,因此需要结合其他方法验证。

#### 4.2.2.局部放电监测技术

局部放电是绝缘故障的早期表现,通过监测设备的局部放电信号,可以有效定位接地故障点。局部放电监测技术包括超声波检测、脉冲电流检测和电磁波检测等方式,可提供高精度的故障信息。这种方法在识别绝缘缺陷和微小接地点方面具有显著优势,但对设备的复杂性和操作环境有较高要求,且设备成本较高。

#### 4.2.3 基于大数据与人工智能的故障诊断技术

随着数字化技术的发展,大数据与人工智能(AI)技术逐渐被引入复杂直流通地问题的诊断中。通过对变电站运行数据的实时采集和分析,大数据平台能够提取异常信号的特征,实现对接地问题的快速定位与分类。人工智能技术,如机器学习和神经网络,可以通过训练模型自动识别接地模式,预测故障发展趋势。这种方法不仅提高了检测精度,还能够支持故障的主动预警与趋势分析。然而,大数据与AI技术的应用需要依赖高质量的数据支持和先进的硬件设备,对建设成本和技术水平提出了较高要求。

## 五、复杂直流接地问题的改进措施

### 5.1 设备改造与维护

设备改造与维护是解决复杂直流通地问题的基础工作。老化电缆和设备是接地故障的主要来源,因此更换老化的电缆和绝缘性能下降的设备是首要措施。在更换时,应选择具备更高耐压等级、更强耐环境性能的电缆材料,确保其适应长期运行的需求。同时,对现有设备的绝缘性能进行全面提升是另一关键点。例如,可以采用高性能的绝缘涂层或增加设备的绝缘层厚度,从根本上降低接地风险。此外,定期的设备巡检与维护也是不可或缺的。通过建立设备运行的历史档案,及时发现潜在故障点,避免接地问题进一步恶化。

### 5.2 系统设计优化

优化系统设计是减少直流通地问题的重要手段。在接地

网结构设计中,应充分考虑土壤电阻率和区域环境条件,合理布局接地网,避免局部接地电阻过高的情况发生。此外,在直流系统的接地配置中,应根据实际负荷需求,选择最优的接地方案,确保接地电流分布均匀、接地电压稳定。例如,可通过改进接地排布方式或增加多点接地补偿装置,降低复杂接地的发生概率。在新建或扩建变电站时,应将接地问题纳入系统设计的优先考虑事项,确保变电站在规划阶段就具备较强的抗接地故障能力。

### 5.3 操作管理与规程优化

复杂直流感地问题的另一重要原因是人为操作失误。因此,加强运行与维护管理,完善操作规程和人员培训显得尤为重要。运行过程中,应建立严格的接地巡检制度和故障处理流程,对设备的接地状态进行实时监测和记录,避免问题长期未被发现。针对操作规程,应优化相关流程,明确关键设备的操作规范,减少误操作的可能性。与此同时,加强对检修和运行人员的技术培训,使其掌握复杂接地问题的诊断与处理方法,提高其专业素养和操作规范性,进一步降低人为因素引发的接地隐患。

### 5.4 新技术的应用

随着科技的发展,新技术在直流接地问题的防护和诊断中扮演了重要角色。防直流感地设备是一项实用性很强的技术,例如应用自动化防接地装置,可以在接地发生的初期快速切断故障点,避免事故扩散。基于物联网的实时监测系统能够对变电站的接地状态进行全天候监控,通过传感器采集运行数据并上传至云平台进行分析。当接地问题发生时,系统可第一时间发出报警信号,指导维护人员快速定位故障点。这种技术不仅提高了接地问题的发现效率,还为未来的智能化变电站建设奠定了基础。

## 六、案例分析

### 6.1 故障背景

某 220kV 变电站直流系统的稳定运行依赖于良好的直流绝缘性能。然而,一起复杂直流感地故障打破了这一平衡。在晴朗的天气下,该站直流屏 5 和 6 同时触发接地告警。直流屏 5 和 6 分别为 I 段和 II 段直流母线供电,告警时屏内直流电压显示为“+172V, -46V”,远离正常值“+110V, -110V”。初步排查后,现场运行人员未能定位接地点,只得暂停操作,通知调度员派遣检修人员进行处理。

### 6.2 故障分析

#### 6.2.1 拉路过程分析

检修人员首先通过拉路排查,将直流屏 6 的 I 段直流母

线断开后,屏内告警消失,而直流屏 5 的告警仍存在。这表明接地点可能分布在不同设备区,属于典型的多点接地现象。在 35kV 开关室中发现直流母线为非环网结构,进一步确认接地点分布在直流屏 5 和 6 的不同区域。

#### 6.2.2 直流屏 6 接地点定位

通过逐一断开 35kV 开关柜内的直流空气开关,发现当断开 35kV I 母 PT 开关柜的连接后,直流屏 6 的接地告警消失,电压恢复正常。进一步检查发现,问题出在航空插座的二次线与公用测控设备的错误连接,这导致了电流互串,产生虚假接地现象。

#### 6.2.3 直流屏 5 接地点定位

对于直流屏 5,故障定位过程同样采用逐步拉路的方法。当断开测控屏相连的遥信公共线后,直流屏 5 的告警消失,且电压恢复正常。进一步测试发现,室外汇控柜内的遥信二次电缆因外皮破损而直接接地。

## 6.3 故障处理

#### 6.3.1 遥信回路接地点修复

检修人员对 4826 汇控柜内的遥信回路逐点排查,通过断开二次线最终锁定故障位置。在检测中发现,通信电缆外皮破损导致线芯与大地连通。替换新的电缆后,直流屏 5 的接地告警完全消失。

#### 6.3.2 电流互串问题处理

为防止类似互串现象再次发生,检修人员对 35kV I 母 PT 开关柜的二次接线进行整改,移除公用测控的错误连接,确保直流屏 5 和 6 的供电回路完全独立。经过调整后,二次回路结构恢复正常,相关设备运行稳定。

通过本次复杂直流感地故障的处理,验证了逐步拉路、分区域定位的有效性,同时强调了设备管理和设计规范的重要性。完善的操作规程和严谨的验收流程将有助于减少类似问题发生,确保 220kV 变电站的安全稳定运行。

## 七、结论与展望

220kV 变电站复杂直流感地问题的发生,不仅是技术挑战,更是运维管理和系统设计中的综合性问题。通过本案例的处理,可以看出逐步拉路排查法、针对性修复遥信回路及电流互串问题的有效性。同时,设备老化检测、设计优化及操作规范性在减少接地隐患中至关重要。未来,应加强变电站设备的定期检测与维护,采用先进的智能诊断技术,同时完善设计与施工工艺,确保电网运行的安全与稳定。本研究为类似问题的解决提供了实践参考,并为复杂电力系统故障的研究奠定了基础。

## 参考文献

- [1]变电站 10kV 开关柜通用转运小车的研制.赖宝鹏;张仪涵;何晓燕.电工技术, 2022(10)
- [2]110kV 智能变电站备自投保护用母线电压的分析.王鹏程.山西电力, 2021(05)
- [3]500kV 变电站调控端程序化操作的关键技术研究.吕学增;张炜;叶海峰;陈存林;刘路登;王海港;王文林.安徽电气工程职业技术学院学报, 2019(03)