

# 变电站直流系统环网互窜故障分析及处理方法

任新<sup>1</sup> 侯颖茵<sup>2</sup>

1 广东电网有限责任公司广州供电局 2 广州市电力工程有限公司

DOI:10.12238/pe.v2i4.8372

**[摘要]** 随着电力系统规模的不断扩大和自动化程度的提高,变电站直流系统的稳定运行,有利于保障电网安全、可靠供电。直流系统环网互窜故障,将导致保护设备误动作,甚至引发大面积停电事故,对电力系统的经济性和稳定性造成严重影响。文章旨在深入分析直流系统环网互窜故障的成因、影响及其处理方法,以期提高变电站运行的可靠性,提高电力系统的安全性和稳定性,保障电力供应的连续性。

**[关键词]** 变电站; 直流系统; 环网互窜; 故障

**中图分类号:** TM411+.4 **文献标识码:** A

## Analysis and Handling Methods of Loop Network Interconnection Fault in Substation DC System

Xin Ren<sup>1</sup> Yingyin Hou<sup>2</sup>

1 Guangdong Power Grid Co., Ltd. Guangzhou Power Supply Bureau

2 Guangzhou Electric Power Engineering Co., Ltd

**[Abstract]** With the continuous expansion of the power system scale and the improvement of automation level, the stable operation of the DC system in substations is conducive to ensuring the safety and reliable power supply of the power grid. The mutual fault between the DC system and the power grid will lead to the misoperation of protective equipment, and even cause large-scale power outages, which will have a serious impact on the economy and stability of the power system. The article aims to deeply analyze the causes, impacts, and handling methods of inter network faults in DC systems, in order to improve the reliability of substation operation, enhance the safety and stability of the power system, and ensure the continuity of power supply.

**[Key words]** substation; DC system; Loop network interconnection; fault

### 引言

随着电力系统规模的不断扩大和智能电网的发展,变电站直流系统作为电力系统的重要组成部分,其稳定性和可靠性,对于整个电网的安全运行至关重要。直流系统为变电站内的继电保护、控制、信号以及自动化设备提供不间断电源,确保了关键设备的正常运行。然而,近年来,由于直流系统设计复杂度增加,尤其是直流环网的广泛应用,环网互窜故障问题日益突出,对变电站的稳定运行构成了严重威胁<sup>[1]</sup>。此类故障可能导致保护装置误动、控制系统失效甚至电网崩溃,因此,对变电站直流系统环网互窜故障的深入分析,加强处理方法研究显得尤为紧迫。

### 1 环网互窜故障类型与判别方法

#### 1.1 故障类型分析

①两段直流母线异极互窜:当发生两段直流母线异极金属性互窜时,如图1所示。其中一段直流母线报直流正接地,另一段直流母线报直流负接地,且两段母线接地极电压大小相等,方向相反。

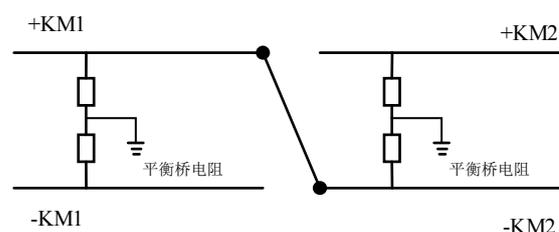


图1 两段直流母线异极互窜

②两段直流母线单同极互窜:当发生两段直流母线同极金属性互窜时,如图2所示发生正极环网互窜。现场无告警,正负电压有略微的不平衡,正极电压略微下降,负极电压略微升高,正极对地绝缘电阻有所下降,但两段直流母线正极电压会完全相同。

③两段直流母线双同极互窜:当发生两段直流母线同支路双极互窜时,如图3所示。如果未选线,则在互窜初始时间,系统无明显异常。当手动启动绝缘监测装置选线时,绝缘监测装置正

确选线,绝缘监测装置显示正地电阻、负对地电阻平衡,无告警信号,但是由于双同极互窜导致绝缘检测的平衡桥电阻等效减少至原先的一半从而导致检测装置对接地故障的灵敏度下降。

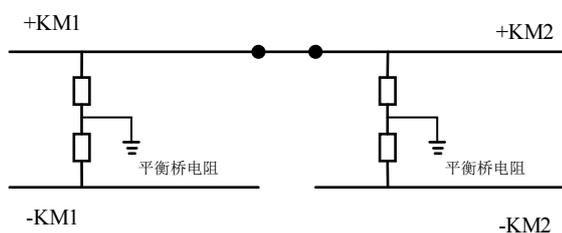


图2 两段直流母线单同极互窜

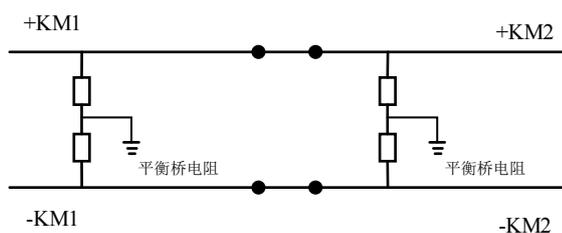


图3 两段直流母线双同极互窜

### 1.2 判别方法

在正常运行的直流系统中,判断是否存在环网故障的方法有以下几种:

(1) 直流接地法:当直流系统发生接地故障告警时,如果2套直流总是同时出现接地故障,则可说明存在环网故障如接地极性相同,表明是同极性环网(包括单极和2极环网),如2段母线接地极性相反,表明为异极性环网故障也可以采取人为接地方法,即在任意段母线的负极与大地之间,接入 $100\text{k}\Omega$ 以上的电阻。(2) 负荷电流法:一般情况,直流系统负荷是比较均匀的分配到2段直流电源供电,充电机在浮充状态时,提供本段负荷电流,从几安培至十几安培如果发现其中一段母线充电机正常负荷电流偏小或为零,则有环网故障,并且是正负极同时直接环网。

## 2 故障原因分析

### 2.1 施工错误

在变电站直流系统的建设和改造过程中,施工错误是导致直流环网互窜故障的常见原因之一<sup>[2]</sup>。主要包括接线错误、安装不当和未遵循设计规范等。例如,施工人员在敷设电缆时,误将不同母线的负荷电源线交叉连接,导致电流在不应流通的路径上流动。同时,安装直流断路器或熔断器时,若未严格按照图纸进行,使得保护设备失效,无法在故障发生时准确动作<sup>[3]</sup>。此外,施工中忽视了对设备接地点的校验,导致接地不良,进一步引发环网互窜现象。

### 2.2 误操作

在日常运行和维护过程中,工作人员由于疏忽、误解规程或缺乏培训所致。此外,误投切保护装置电源,使得同一保护回路由两路电源供电,也可能引发环网问题。在某些情况下,误操作甚至导致直流母线电压异常波动,进而影响到整个变电站的稳定运行<sup>[4]</sup>。

定运行<sup>[4]</sup>。

### 2.3 装置内部故障

装置内部故障通常涉及直流电源模块、继电器、接触器、熔断器等关键元件的损坏或性能下降。例如,电源模块的输出不稳定,导致电流异常流动,而继电器触点的氧化或烧蚀在切换过程中产生误动作,使得电流通路偏离正常设计。此外,内部短路是装置故障的典型表现,当内部绝缘材料老化、受潮或者过热,导致内部短路,从而破坏直流环网的正常运行。这种故障难以通过外部观察发现,需要借助专业的检测工具和细致的故障排查才能定位<sup>[5]</sup>。

### 2.4 电缆破损

在变电站中,直流电缆作为电力传输的介质,其物理完整性至关重要。电缆破损源于多种因素,如安装过程中的机械损伤、长期运行的老化、环境侵蚀或者过载导致的热损坏。一旦电缆外皮受损,内部导体暴露,就可能引起接地故障,进而引起环网电流的异常流动,形成互窜现象。此外,破损电缆也可能成为谐波放大的媒介,影响直流系统的稳定运行。

## 3 故障影响

### 3.1 直流系统失稳

直流系统失稳,是直流环网互窜故障的直接后果之一。在正常运行中,变电站的直流系统提供稳定可靠的电源,支持继电保护、自动化设备以及控制回路的运行。当发生互窜故障时,由于电流通路异常,导致直流母线电压波动,甚至出现电压骤降或骤升的现象。例如,在某些情况下,原本应独立运行的两段母线,因互窜而形成闭合环路,导致电流非正常流动,使得系统电压无法保持恒定,从而引发控制系统功能紊乱。

### 3.2 蓄电池寿命缩短

在直流系统环网互窜故障中,蓄电池作为备用电源,其寿命会受到显著影响。当互窜故障发生时,会导致蓄电池组的不正常放电,使得蓄电池长期处于过充或欠充的状态。过充电会导致电解水的分解,增加电池内阻,降低电池容量;而欠充电则会使硫酸铅不能完全转化为硫酸铅晶体,形成不可逆硫酸盐化,同样会降低电池的活性物质利用率。

### 3.3 接地故障检测失灵

接地故障是变电站直流系统中常见的故障类型之一,当直流系统环网互窜故障发生时,导致接地检测系统失效。由于互窜导致的电流通路改变,传统的接地电阻测量方法无法准确判断接地位置,使得检测系统发出错误信号或者完全无法报警。例如,原本设计用于检测单点接地的接地继电器,因环网电流的复杂分布而无法正常工作,从而延误故障排查和处理。此外,互窜故障还使保护装置的逻辑判断出错,例如,当两段母线间的隔离不当,导致保护回路误判为正常情况,从而忽视了实际存在的接地问题。

### 3.4 设备误动或拒动

在直流系统环网互窜故障发生时,设备的正常工作状态会受到严重影响。由于电压异常或电流通路的改变,保护设备无法

准确判断故障情况,导致设备误动,如断路器不必要的跳闸,不仅中断了正常的电力供应,还加剧故障影响范围<sup>[6]</sup>。另一方面,某些关键设备因故障导致拒动,即在应当动作时未能正常启动,例如备用电源未能自动投入,从而延长了故障恢复时间,增加了电网的不稳定性。

#### 4 环网互窜的处理方法

##### 4.1 检测方法

(1) 电压和电流检测,检查线圈是否励磁、指示灯是否处于亮灯状态。电压过低可能导致线圈失去磁力或信号指示灯亮度降低。使用便携式直流感地测试仪检测两段直流是否存在直接相连的现象。(2) 系统状态分析。监控直流系统状态,特别注意馈线绝缘降低和直流感地监测系统显示的异常电阻值。(3) 分析直流系统的负载和电源配置,查看是否存在寄生回路或共极工作的现象。

##### 4.2 故障排查

(1) 检查施工和改造。如果直流系统近期经过施工或改造,重点检查负荷电源线是否连接错误,是否存在跨越两段母线的情况。(2) 检查操作和维护。核查倒负荷操作过程中是否存在未切断一路空气开关的情况,导致两套直流系统共极工作。

##### 4.3 故障处理

(1) 断开环路。一旦确定存在环网问题,立即断开造成环网的电源或负载,避免进一步损害系统。(2) 排除故障。根据检测结果和排查结果,修复或更换故障设备,如更换破损的电缆、修正错误的电源连接等。(3) 优化系统配置。审查并优化直流系统的配置,确保两套直流系统独立运行,避免共极工作或寄生回路。

#### 5 直流故障一般处理方法

##### 5.1 切断故障点

在变电站直流系统中,一旦发现环网互窜故障,必须迅速且准确地切断故障点,以防止故障扩大,保障电力系统的稳定运行。通常涉及以下几个步骤:首先,通过实时监控获取故障信息,初步判断故障可能发生的位置。其次,利用故障定位技术,如基于暂态信号分析或阻抗测量的方法,精确定位故障位置。涉及到隔离特定馈线、分段断开母线连接,或者使用专用的故障定位仪器进行辅助定位。然后,按照安全操作规程,执行隔离操作。在确保自身安全的同时,按照预定的隔离顺序断开相关开关,找到故障点。在切断故障点后,应立即进行临时隔离,防止故障区域影响正常运行的部分。需要安装临时接地线或使用绝缘隔板,隔离故障区域,确保其他设备的正常供电。

##### 5.2 紧急处理流程与步骤

在直流系统环网互窜故障发生时,需加强快速有效的应急处理,以降低故障对变电站运行安全的影响。在实际处理中,需遵循如下紧急处理流程与步骤:(1) 启动应急预案。一旦监控系统

报警或现场人员发现异常,立即启动预先制定的直流系统故障应急预案,通知相关运维人员迅速到位。(2) 安全隔离。在确保人身安全的前提下,迅速隔离故障区域。通过查看直流系统的监控数据和现场设备状态,切断故障点附近的电源。(3) 初步故障定位。利用已有检测手段,如便携式直流感地测试仪,快速进行初步故障定位,确定故障回路或设备。(4) 断开冗余回路。如果存在冗余电源,应迅速断开非故障回路。

##### 5.3 预防性维护与管理

预防性维护是减少直流系统环网互窜故障的关键策略。定期进行设备检查和性能测试,可提前发现潜在问题,避免故障的发生。以下是一些关键的预防措施:(1) 定期巡检。执行周期性的设备巡检,检查接头、端子是否有过热、氧化或松动现象,确保电气连接的可靠性。(2) 绝缘电阻测试。定期测量直流系统的绝缘电阻,以评估电缆和设备的绝缘状态,及时发现绝缘降低的部位。(3) 蓄电池维护。定期进行蓄电池充放电试验,监控电池电压和内阻,确保其在正常工作状态下,延长电池使用寿命。(4) 系统监控与报警。利用先进的监控系统实时监测直流系统的电压、电流和功率,设置合适的阈值报警,以便在异常发生时快速响应。(5) 更新与培训。定期更新直流系统设备的技术资料,对运维人员进行专业培训,提高故障识别和处理能力。(6) 标准化作业。制定并严格执行标准化的操作规程,减少因人为因素导致的误操作和施工错误。

#### 6 结束语

总结而言,变电站直流系统环网互窜故障的预防与处理,是一项系统性工程,涉及多个层面的技术与管理。通过科学的方法和技术手段,结合严格的运维管理,可显著降低此类故障的发生,保障变电站的安全稳定运行,从而提升电力系统的整体可靠性。未来的研究应进一步聚焦于提升故障诊断的智能化水平,优化系统设计,以更好地应对日益复杂的电力系统挑战。

#### 【参考文献】

- [1]李应文,彭明智,张纯.变电站直流电源系统直流环网与交流窜入的原因及危害[J].自动化与仪器仪表,2018(7):57-60.
- [2]王芮帆,刘鑫,曹金鑫.变电站直流系统接地故障原因及对策分析[J].光源与照明,2024(02):189-191.
- [3]吴海艳,江琴,李保宏,等.基于虚拟阻抗的多落点混合级联直流系统故障电流抑制方法[J].电力自动化设备,2023,43(2):191-196,202.
- [4]王伟晴.基于多技术融合的变电站直流系统智慧运维体系构建[J].自动化应用,2024,65(09):225-227+230.
- [5]李艳梅,魏巍,肖龙,等.基于自动化试验技术的直流系统故障样本库构建方法[J].电气技术,2023,24(8):82-86.
- [6]蔡燕春,王莉,张少凡.基于电池储能配置的直流系统失压补偿控制方法研究[J].粘接,2024,51(06):155-157.