

# 特高压换流站直流穿墙套管故障动作策略优化

谭博洋

国网四川省电力公司特高压直流中心

**摘要:**近年来,特高压换流站成为电力系统重要的基础设施,而确保其正常运行至关重要,是满足直流输电可靠的关键所在。其中,直流穿墙套管作为核心设备之一,起到重要的衔接作用,能将直流场与阀厅设备相关联,犹如特高压换流站的“咽喉”,唯有保证其安全高质高效,才能让换流站直流传输更加稳定。本文将重点分析特高压换流站直流穿墙套管的典型故障,并对故障产生原因进行分析,最后提出几点直流穿墙套管故障动作策略的优化建议以供参考。

**关键词:**特高压换流站;直流穿墙套管;故障动作;原因分析;优化策略

【DOI】10.12252/j.issn.2096-6261.2022.07.219

## 引言

作为特高压换流站极其重要的结构组件,高压套管存在的各类典型故障,极有可能影响到整个特高压换流站的稳定性与安全性。且不同位置处的高压套管所发生的故障类型有所差异,尤其直流穿墙套管,扮演着极其重要的功能角色,掌控不同的故障类型,并针对性优化相应动作策略,是当下供电系统必须深入探讨的问题,唯有切实解决高压直流穿墙套管的故障风险,才能提升特高压换流站的运行效率,提高直流系统的利用水平。

### 一、套管的功能和作用

套管,是现代供电系统中极其重要的结构组件,具有不可小觑的功能和作用。尤其近年来,电力运营需求日益严峻,社会经济发展迅猛下,需要更强大的电力资源支持,而电力系统的稳定运行安全供电极为重要。而高压套管在运用过程中可实现调整引线方向的作用,解决以往运行过程中引线方向不正确的问题,在此基础上,借助高压套管,能在保护好引线的时候,将引线固定在指定范围内,实现对地绝缘的作用效果。分析套管的具体作用机理,在电力系统中,变压器大多无间歇长时间保持运转状态,具有较强的损耗和风险。尤其特高压换流站,内部的套管更要承受较大的电压与电流。一旦发生故障问题,必然会在短时间内形成超限电压和超限电流,对变压器的负面影响不容小觑。而在指定的位置处安装好套管,能够形成较好的保护作用,避免在瞬间过高的电压电流,损坏变压器影响线路的稳定性。但在实际实践运用中,还需采用诸多行之有效的检验和优化对策,确保套管充分符合使用标准,尤其要满足特高压换流站的使用需求,才能控制故障的发生概率<sup>[1]</sup>。

### 二、特高压换流站直流穿墙套管典型故障

#### 1. 套管介损增大

特高压换流站中,为了实现直流稳定传输目的,需要借助直流穿墙套管,使阀厅能与直流场设备相连接,因此直流穿墙套管的整体性质和状态,对特高压换流站的运输和供电影响极大。大多数特高压换流站在选取直流穿墙套管时,会集中筛选并确定更具性能优势,设计和实践经验成熟的直流穿墙套管,并且还将在套管外侧附有一定规格和材质的外壳作为保护,但不可否认这种高压套管在整体使用过程中结构非常复杂,制造难度仍然极大,长期高功率的运行状态下,必然会加大直流穿墙套管的故障风险,难以保证整体的运行稳定性。加之特高压换流站相较于普通的基础设施,在电力资源的传输上显著上涨,再次加大了直流穿墙套管的故障风险。而从以往直流穿墙套管的故障分析来看,套管介损增大是极为典型的问题之一,也是诸多特高压直流输电系统常见的直流穿墙套管故障。借助高压介损试验可以发现,直流穿墙套管的介损值有明显下降趋势,并且超过规程的允许值,就容易导致这一故障隐患。

#### 2. 套管末屏击穿

除套管介损增大这一典型故障问题外,在特高压换流站的运行过程中,套管末屏击穿也是一种故障风险,具有较高的故障发生概率。根据以往特高压换流站的直流穿墙套管故障总结统计来看,通过绝缘电阻电容及介损测试等一系列检验环节,能够证实套管内部存在异常。而通过解剖发生故障的直流穿墙套管,可以深入分析和发现存在的问题根源,一般来说,出现套管末屏击穿的现象后,套管户外部分段尾部会存有大量的粉尘,也有部分直流穿墙套管会形成树枝状爬电痕迹,内部分段尾端中的汇流环出现烧蚀断裂的现象,或接地线烧断烧蚀的痕迹,从而导致套管出现故障问题。另外在具体

分析过程中,针对这一常见的故障问题,往往同时还表现出明显的过热痕迹。综合分析评定,确定导致直流穿墙套管末屏击穿的故障原因,主要在于金属粉末引起的电场畸变,从而使内部形成闪络问题。

### 3. 回路电阻增大

回路电阻增大,也是特高压换流站直流穿墙套管故障的典型,这一故障问题一旦发生,可利用相关检测办法检测得到明显的电阻增大问题,并且回路中还具有一定的波动性,与以往正常状态下存在明显不同。而从以往的分析情况来看,直流穿墙套管若出现回路电阻增大的故障问题,将均压罩拆除后,能在套管户外端导电杆,与其他重要构件连接区域,发现深浅不一但较为明显的压痕,推测可能因此导致故障风险。而这种压痕的形成,一般与穿墙直流套管在长时间的运行期间受外界作用力影响,包括自身重力、外部荷载甚至还可受热胀冷缩因素导致。而通过对这种故障直流穿墙套管解体来看,可以再次发现对应处有明显的表带压痕,推测极有可能因此,引发直流穿墙套管故障<sup>[2]</sup>。

### 三、特高压换流站直流穿墙套管故障原因分析

从以上特高压换流站直流穿墙套管典型故障来看,分析具体故障成因是集中实施动作策略优化的关键所在。通过故障系统性的解体分析和梳理,可以发现,虽然不同故障问题现象有所差异,但在引发故障的根本原因上存在一定的相似之处,均容易受到直流穿墙套管结构设计缺陷影响,从而导致各种风险隐患。尤其一旦结构设计不合理,很容易导致金属锁紧环内螺纹,存在不同程度的磨损问题,且随着磨损问题,会明显加大直流穿墙套管的故障风险。内部积聚一定的金属粉尘后,这些粉尘将附着于运行的区域范围内,使得绝缘效果差强人意,最终使得戒损日渐偏大,甚至形成放电的问题,带来一系列故障风险<sup>[3]</sup>。

除以上常见的故障原因外,特高压换流站直流穿墙套管故障的成因往往也与外界环境因素有极大关联,如遇到小雪加雨的恶劣环境,加之外界风力因素的干扰和影响,容易使得直流穿墙套管表层增加积雪覆盖,长期作用下会加剧套管表面局部电压的畸变问题,这对保证直流穿墙套管稳定运行尤为不利。而且受电压异常因素影响,会使得套管内部温度发生改变,容易导致融穴桥接的问题,最终形成套管外绝缘闪络的故障。另外,据以往特高压换流站直流穿墙套管的故障研究情况来看,

出现直流闭锁问题,一般与发生内部故障有极大关联。如套管内出现放电闪烁现象,会使得套管形成保护动作,造成跳闸问题随后内部因放电因素影响,会再次形成防爆膜动作,损伤内部的绝缘层,最终再次生成跳闸信号。针对这些典型直流穿墙套管的故障分析,造成故障的原因多种多样,但极有可能导致同一极内健全换流器同时闭锁,造成极为显著的直流功率损失,甚至还会影响其他设备的安全性。

### 四、特高压换流站直流穿墙套管故障动作策略优化的必要性

结合以上分析,特高压换流站直流穿墙套管的故障问题,必须借助保护动作来达到控制故障的目的,避免故障风险持续扩大,严重威胁整个特高压换流站的电力供应,造成不可估量的损失问题。分析换流变压器保护的实现效果,必须始终遵循保护的配置原则,能够在执行保护动作的过程中,尽量遵循安全可靠且简单经济的原则,完成保护任务,尤其相应的装置,自身必须采取防止故障的有效动作。此外,在直流穿墙套管发生故障后,迅速执行保护动作策略极为必要,能有效缓解各种故障带来的潜在风险,并运用后备保护措施增加过流保护过电压保护等相关保护范畴,让特高压换流站能够持续稳定运行<sup>[4]</sup>。同时,相较于其他设备而言,特高压直流穿墙套管是极其重要的核心设备,直接关乎着整个输电系统的安全稳定性,因而必须集中分析可能存在的故障问题,并制定针对性的保护动作,设置合理的保护分区,切实满足特高压换流站稳定运行的根本需求。目前,各种直流穿墙套管故障动作策略具有显著的应用优势,而且针对不同故障问题,所采取的动作策略应适当加以微调,从而满足具体的故障消除需求。正因如此,适当对当下特高压换流站直流穿墙套管故障动作策略,加以优化极为必要。

### 五、特高压换流站直流穿墙套管故障动作策略优化建议

#### 1. 动作策略

特高压换流站在发生直流穿墙套管故障问题后,应集中在动作策略上寻求优化对策,分析现有动作策略的制定情况,并适当梳理其中,可优化到相关要素。以提高直流系统利用率为目标,集中分析直流穿墙套管故障的具体现象,必要时应将故障套管解体处理,从而严格分析存在的问题和形成原因。如从常见的直流穿墙套管故障引发单极闭锁现象来看,在动作策略的设置上,可

通过优化特高压换流站换流器差动保护区的方法,来达到动作保护目的,有效解决故障问题。具体故障策略的安排:需要结合直流穿墙套管的具体功能,将原有区域的光电流互感器迁移,调换到指定的位置区域,从而实现更好的动作,保护效果,主要作用于直流穿墙套管阀厅和直流场两个区域,可集中将其迁移至直流场plc电抗器外侧,达到较好的保护效果。同时还要调整直流穿墙套管的差动保护区范围,将其融入换流器的保护区。这样一旦发生故障问题,便能有效调整动作策略,提高故障的应对处理效果。

## 2. 策略优化

为优化动作策略,需首先准备好相应的试验条件,才能进一步调整控制保护策略。基于前期的动作策略分析,所需配置的试验条件有几点重要的要求:第一,在优化动作策略时,需要始终保证站间通信正常,并且一旦发生通信故障,不应执行重启动作<sup>[5]</sup>。第二,要保证控制保护系统中的相关设备能与一次设备形成一致效应,如其中的直流场相关开关,如若存在差异性,实验无法有效开展。第三,在试验优化过程中,要保证运行回路状态良好。而且在进行隔离时,如若存在特殊情况或标志性状况,必须终止后续操作。基于以上关键的试验条件要求,在对保护策略进行优化过程中,需要充分考虑可能存在的影响因素,合理调整极差动保护出口的动作策略。一方面,若形成极差动保护动作时,要首先进行判断,分析换流器是否同时形成差动保护动作,如若达标,此时可首先判定故障区域集中于换流器的保护区,可按照规定执行重启换流器的动作时序。另一方面,若出现极差动保护动作,而换流器无差动保护动作,所采取的动作策略有所区别,需执行跳开高低端换流器交流开关,与前者动作策略保持差异。

## 3. 保护配置优化

除动作策略优化外,也可采用保护配置优化的对策,能进一步解决故障风险。从以往特高压换流站直流穿墙套管故障的处理情况来看,适当采取保护配置优化能达到一定的效果,而且有利于实现隔离故障的目的,保证直流系统的利用率。在具体的保护配置优化过程中,仍然采用将光ct移出plc电抗器外侧的办法,来达到优化对策,能使之调整保护策略。另外,若特高压换流站在运行状态下,任意一个直流穿墙套管发生故障,可首先通过闭锁处理的形式,迅速处理该故障点所在的极,依次执行隔离与重启办法,有效降低单极大地回线

运行的时间,完成保护配置优化的任务。另外在动作策略优化的过程中还要注意,如若发生保护动作必须依次进行即闭锁即隔离,跳开故障换流器,按照要求依次完成优化动作过程。

## 4. 试验验证与效果评价

设置好优化动作后,应集中采用实验验证的方式,判定故障优化动作是否有效,而且后续还应及时对优化效果进行评价,才能正式投入运行。首先,在实验验证过程中,根据前期的动作策略,依次开展现场联调试验,需要利用软件模拟的形式,模拟出特高压换流站直流穿墙套管故障的现象,要注意的是,故障优化动作是否有效,必须采用充分验证新策略的方法执行,尤其自动重启健全换流器的新策略,是实验验证的重中之重。除了现场联调试验外,还可借助网联联调实验的形式来加以验证,再次利用实时仿真系统模拟直流穿墙套管的故障问题,反复测验新策略是否合理,准确性是否达标。最后,根据实验验证的综合结果,依次对动作策略优化的效果进行评价,包括技术比对和经济效益的评估,二者均能达到预设标准,才能确定好最终动作优化策略的执行。

## 结语

综上所述,特高压换流站直流穿墙套管故障问题,需合理分析评估故障问题的形成原因,判定动作策略优化的方向,采取合适的优化对策,并通过后续实验验证与效果评价,确认最佳动作策略优化方案,切实提升直流系统的利用率。

## 参考文献

- [1] 耿淼,张栋,王开库.特高压换流站直流穿墙套管安装[J].中国电力企业管理,2019,(18):86-87.
- [2] 杜大鹏,闫兴龙,王紫鑫,刘鹏.(特)高压换流站直流穿墙套管覆雪融化装置的研制[J].电气技术与经济,2022,(04):79-81.
- [3] 李琨,刘俊杰.特高压宜宾换流站直流穿墙套管故障分析及保护配置策略优化建议[J].通讯世界,2019,26(06):136-137.
- [4] 宋海龙,史磊,刘若鹏.特高压换流站直流穿墙套管故障动作策略优化[J].宁夏电力,2017,(01):44-47.
- [5] 史磊.关于特高压换流站直流穿墙套管故障的典型案例分析[J].电工文摘,2016,(04):37-41.