

# 高压隔离开关常见故障分析

姚少蒙

南水北调中线信息科技有限公司

DOI:10.32629/btr.v8i10.5103

**[摘要]** 高压隔离开关是电力系统中用于实现电气隔离以及电源切换的重要设备,它的正常工作对于整个电力系统的安全可靠运行有着极其重要的影响。但由于它常年处于恶劣的户外环境中并且受到电、热、力、环境等多种因素的作用,因此经常会出现各种各样的问题。本文主要针对高压隔离开关出现的各种故障进行详细的分析。文中首先介绍了隔离开关的基本作用和结构;然后着重分析最常见也是最危险的一种故障——导电回路触头过热的原因,在此基础上对其产生原因从接触电阻的角度进行了详细的剖析,包括设计、制造、安装以及运行维护等方面的影响因素;接着分析了操作机构卡涩、拒动、分合不到位等机械类故障的原因,主要是由锈蚀、磨损、变形以及润滑不良等因素引起的;之后又对瓷绝缘子断裂这种严重事故的原因进行了阐述,主要包括材料问题、胶装质量差以及受到外力撞击等原因造成的;最后还提出今后对于高压隔离开关进行状态监测将会越来越多地依靠多物理场耦合仿真的方法来实现,而不再是传统的定期检查的方式。

**[关键词]** 高压隔离开关;触头过热;操作机构;瓷绝缘子;故障机理

中图分类号: TM564 文献标识码: A

## Analysis of Common Faults in High-Voltage Disconnecter Switches

Shaomeng Yao

China South-to-North Water Diversion Middle Route Information Technology Co., Ltd.

**[Abstract]** High-voltage disconnector switches are important equipment in power systems used for electrical isolation and power switching, and their normal operation has a critical impact on the safe and reliable operation of the entire power system. However, due to long-term exposure to harsh outdoor environments and the combined effects of electrical, thermal, mechanical, and environmental factors, various faults often occur. This paper provides a detailed analysis of common faults in high-voltage disconnector switches. It first introduces the basic function and structure of disconnectors. It then focuses on the most common and dangerous fault—overheating of conductive contact points—and analyzes its causes from the perspective of contact resistance, including influencing factors in design, manufacturing, installation, and operation and maintenance. Next, it examines mechanical faults such as sticking, failure to operate, and incomplete opening/closing of operating mechanisms, mainly caused by corrosion, wear, deformation, and poor lubrication. It also discusses severe failures such as porcelain insulator fracture, which may result from material defects, poor cementing quality, or external impact. Finally, it points out that future condition monitoring of high-voltage disconnectors will increasingly rely on multi-physics coupled simulation methods rather than traditional periodic inspection.

**[Key words]** High-Voltage Disconnector Switch; Contact Overheating; Operating Mechanism; Porcelain Insulator; Fault Mechanism.

### 引言

在现代电力系统的发、输、变、配各环节中,高压隔离开关(又称隔离刀闸)发挥着举足轻重的作用。其主要作用是在无负荷电流或者只有极少量电容、电感电流的情况下,能够可靠地切断或者闭合电路,为需要检修的电气设备(如断路器、母线、变

压器等)提供一个明显可见并且符合有关安全规程规定的断开点,保证检修人员的安全以及检修质量,在倒闸操作时还可以用来改变电网运行方式,进行不同母线或者线路之间的转换。虽然从结构上看比断路器要简单得多,不需要承担开断负荷电流和短路电流的任务,但是正因为它的“简单”,往往被人们所忽略,

在实际工作中常常受到人们忽视,而且由于大部分零部件都处于露天环境中,受到阳光照射、雨水冲刷、风吹日晒、覆冰、污染以及工业废气的影 响,所以是电力系统中故障率较高的设备之一。如果高压隔离开关出现问题,轻者会导致操作失败,影响正常倒闸操作和检修工作计划;严重还会引起相间短路、接地故障,造成大范围停电事故,甚至危及到现场工作人员生命安全。所以研究高压隔离开关出现的各种常见缺陷以及产生这些缺陷的原因对选择合适的型号、安装、运维、检修都有十分重要的理论与现实意义。本文就以常见的导电回路过热、操作机构失灵以及瓷质绝缘子断裂为例来探讨其中原因。

## 1 高压隔离开关的基本结构与功能

### 1.1 主要组成部分及其作用

为了正确诊断问题,必须要清楚它的结构。一般而言,一个普通的户外高压隔离开关主要有四个主要组成部分:导电部分、绝缘部分、传动操作系统以及底座。导电部分是电流通过的地方,包括动触头、静触头、导电杆及其相连的各种接头等。动、静触头良好接触对于低电阻、低损耗通流十分重要。绝缘部分起到隔离带电导电部分和接地底座的作用,一般采用支柱瓷绝缘子来实现,它需要承受正常运行电压、各种过电压的同时还必须要有足够的强度来承受导电部分本身的质量以及操作过程中产生的各种负荷<sup>[1]</sup>。传动操作系统是隔离开关的“肌肉”与“神经系统”,利用人力、电动或者气动的方式把操作力矩传送到导电部分,使它能够可靠地进行分闸、合闸的操作。这个系统一般是由若干个连杆、拐臂、轴承、轴销以及辅助开关等一些非常精细的元件组成。而底座就是整个装置的基础,在上面固定隔离开关并且为传动操作系统提供安装位置。

### 1.2 各部分协同工作的整体性

这四个部分相互配合,是一个完整的电气隔离装置,任何一个部分的质量下降或者损坏都会造成整个隔离开关无法使用。导电部分保证其导电能力以及发热程度;绝缘部分保证不会出现对地或者是相间短路的情况发生;操作机构保证能够准确无误地进行分合闸的操作;底座保证所有的部件都能够良好地固定在上面。这几个方面都是互相联系、缺一不可的整体,其中一个部分出现问题就会导致整个系统的崩溃。

## 2 导电回路触头过热故障分析

### 2.1 触头过热故障的危害性与普遍性

在所有的高压隔离开关故障当中,导电回路尤其是动、静触头接触部位过热是出现频率较高而且危害极大的一种现象,在触头温度升高到一定范围之内(一般规定最高允许温度为70℃或者80℃)之后,会使触头表面氧化、软化,使触头硬度下降以及导电率下降而形成恶性循环,还会造成触头间熔接,在应该拉开的位置不能拉开而发生更大的短路故障。

### 2.2 接触电阻增大的根本机理

触头过热的主要原因是接触电阻过大。由焦耳定律( $Q=I^2Rt$ )可知,在流经同样电流情况下,电阻越大,产生热量就越多。但是接触电阻并不是一个定值,而是一个变化值,这与许多方面

有关。第一是接触压力不够。这是造成接触电阻增加主要原因。在长时间运行过程中,用来产生接触压力的压紧弹簧由于材料疲劳、高温退火或者腐蚀等原因发生永久变形,造成弹性减弱<sup>[2]</sup>。另外,在安装或者检修过程中,如果未按要求调整好传动连杆长度或者定位螺钉位置,也会使触头在合闸终了时达不到规定的插入深度以及接触压力。

### 2.3 接触表面状态恶化的影响

其次,是接触面状况变坏。刚出厂时触头表面一般都有一层防止氧化的银或者锡等涂层,在长时间使用过程中特别是分合闸过程中产生的电弧对其磨损后,这层防护涂层就剥落,而裸露出来的铜又很容易被氧化形成一层高电阻率的氧化铜薄膜,另外空气中的硫化物、氯化物等杂质也会与金属发生化学反应生成导电性能很差的硫化银、氯化银等物质粘附在触头上,这些都是增加额外的收缩电阻以及膜电阻的原因。

### 2.4 有效接触面积减小与过负荷运行

其次是有有效接触面积减小。由于制造公差、安装偏差或者基础沉降等造成动静触头在闭合之后不能很好对准,发生偏心接触或者线接触而不是面接触,从而使电流只能流经一个远小于预期有效部分,在此部分电流密度极大增加而导致局部过热;另外长时间过载也是一个重要原因。如果电网中的负载一直大于该隔离开关的额定电流,即使接触良好,它也会因为 $I^2R$ 发热而达到比正常情况下更高的温度,加快材料的老化,使接触状况更差。

## 3 操作机构机械故障分析

### 3.1 机械故障的主要表现形式

高压隔离开关的操作机构是一个比较复杂的机械传动装置,它的正常工作与否直接影响到该设备能否按照命令正确、可靠地进行分合闸操作。而常见的机械故障有操作卡涩、拒分、拒合、分合不到位或者三相不同期等。这些问题都会给倒闸操作带来极大的不便,延长停电时间,在必要时不能及时切断电源,导致事故扩大。

### 3.2 锈蚀与润滑失效的根源

这种类型的故障主要是由于机械部分的锈蚀以及润滑不良所引起的。隔离开关长期在室外使用,其传动轴、轴承、轴销、连杆关节等金属零件必然会受到雨水、潮湿的影响,在海边或者工业污染严重的地方,盐雾、酸性气体都会加剧这些金属的电化学腐蚀速度。锈蚀产生的物质会使动静触头间摩擦增大,使得操作所需的力矩增大,同时也会使本来很好的接触面粘连,导致操作困难,甚至无法动作<sup>[3]</sup>。另外用于减小摩擦、防锈的油脂,在长时间的日光照射下、温度变化大和灰尘进入的情况下,会慢慢变干、硬化、蒸发或者被污染,从而失去它的润滑性和保护作用,使机械磨损加重,更易发生卡涩。

### 3.3 机械部件的变形与磨损

另一个重要原因就是机械部件发生变形或者损坏。每次进行分合闸时,都会对传动机构施加一定冲击以及反复载荷作用,在大量分合闸之后,部分硬度较低或者有余内应力连杆、拐臂

等可能会出现塑性变形甚至疲劳开裂现象,而这些微小变形又会叠加到一起从而改变整个传动链条尺寸关系,在合闸过程中造成触头不能够顺利进入预定位置而在分闸过程中也不能够保证足够安全距离,即所谓“不到位”。另外由于两个零件之间长时间相对移动或者旋转会导致它们之间的接触面产生磨损,从而使两者之间间隙增大。大间隙会使操作过程中产生振动及噪音,还会使分合闸不准确以及不同期,严重时甚至会使传动失灵。

### 3.4 辅助与限位装置的故障

另外,辅助开关以及限位装置的问题也会造成操作问题。辅助开关用来反映隔离开关实际位置并反馈给监控系统,如果其行程过大或者触点接触不好就会导致位置错误。限位开关或者机械止钉是用来限制分合闸的位置,在其调整不当或者松动的情况下也会造成分合闸不到位。

## 4 瓷绝缘子断裂故障分析

### 4.1 瓷绝缘子断裂的突发性与灾难性

相比于前者两种类型的故障,瓷绝缘子的断裂是一种突然发生、严重的故障,后果往往是十分严重的。如果支柱瓷绝缘子在运行中发生断裂,则会使带电导体对地或者相间短路,使保护动作跳闸,造成其所连接母线或者线路停电,而且由于电弧的能量极大,可能会烧坏周围的设备,威胁到人员的生命安全。

### 4.2 绝缘子本体的材质与制造缺陷

瓷绝缘子断裂的原因比较复杂,一般是由瓷件本身存在的问题和外界施加外力所造成的。最主要的因素是瓷件自身的问题,即瓷件本身的材质及生产工艺上的缺陷。而在瓷件烧制过程中,如采用的原材料不合理、成型时的压力不够或者烧制时的质量控制不佳,都可能造成瓷体内部有气泡、杂质、微裂纹或者“黄心”(烧制不完全的地方),而这些部位的强度远远低于正常的瓷体,容易成为应力集中区,在长时间受重力的作用、风吹日晒、操作过电压以及温度变化引起热应力的影响下,裂纹越拉越大,最后发生脆性断裂。

### 4.3 水泥胶装工艺不良的影响

其次,是水泥胶装工艺不良。瓷绝缘子与上、下法兰之间的连接一般用水泥胶合剂进行胶装。这一步非常重要。如果胶装过程中水泥中有气泡存在或者胶装之后养护不到位造成水泥收缩形成细微裂纹,在瓷件与法兰交接处就形成了隐患点。此处既要承受机械力又要承受由于瓷和金属线膨胀系数不同所产生的额外热应力<sup>[4]</sup>。胶装不良容易导致此处受到外界干扰(比如操作震动、地震等)或者是内部作用力(比如温差变化)时出现裂缝

甚至最终导致瓷体破碎。

### 4.4 外部机械应力的异常冲击

最后,外部机械应力的突然作用也不能忽视。比如,在人工操作过程中,如果操作人员施加较大外力或者方法不正确,会对绝缘子产生附加弯曲力矩。再如,在覆冰严重地方,绝缘子伞裙上大量积存厚厚的冰块在融化或者掉落时,会产生极大的不平衡拉伸力。这样一些超出预期瞬时或者长期作用力,也有可能是那根压死骆驼的最后一根稻草,造成有缺陷的绝缘子瞬间断裂。

## 5 结语

虽然高压隔离开关看起来很简单,但是要保证它正常工作也是十分困难的事情。它面临的是电、热、力、环境等多个方面的考验。本文就总结了它的三大类主要问题:即导电回路过热、操作机构失效以及瓷绝缘子破裂的原因。接触部分过热主要是由于接触电阻过大造成的,这是由多种原因导致的一个慢性病;操作机构的问题主要是由于长期在室外风吹雨淋下生锈、磨损变形等引起的,这是机械零部件自然老化的过程;而瓷绝缘子破裂是由于材料本身存在缺陷再加上外力的作用而导致的一种突然的事故,这说明产品质量和生产工艺的重要性。将来随着智能电网以及状态检修的发展,对于高压隔离开关的维护保养也不仅仅是定期的、被动的维护方式。利用物联网技术可以在线监测触头温度、分合闸特性、绝缘子泄漏电流这些重要的参数;通过多物理场耦合仿真技术可以在虚拟世界里再现甚至预见设备的工作情况;最后使用基于人工智能的故障诊断和寿命预测的方法就可以准确判断出隔离开关是否健康以及还剩多少寿命。这样从“坏了再修”到“该修才修”,再到“未坏先防”,会大大提高电网的安全性和经济性,也为建设坚强智能电网提供有力保障。

### [参考文献]

- [1]梁彬彬,曾志环.高压隔离开关常见故障的分析及处理措施[J].技术与市场,2020,27(11):111-112.
- [2]陈凌云.变电检修中高压隔离开关机械故障分析与处理[J].智能制造研究与应用,2025,1(02):76-78.
- [3]吴义芳,陈杰策,黄官臣.高压隔离开关的故障及处理措施[C]//重庆市大数据和人工智能产业协会.人工智能与经济工程发展学术研讨会论文集(二).阿科法电气有限公司;东禾电气有限公司,2025:996-998.
- [4]李琦.高压隔离开关的故障原因及排除对策[J].集成电路应用,2023,40(12):108-109.