

# Analysis and Handling of Common Faults of Isolation Switches in Substation Operation and Maintenance

Wenjing Xing Bingli Zhang Zhonghua Xia Xiaoyan Ma

Changji Power Supply Company of State Grid Xinjiang Electric Power Co., Ltd., Changji, Xinjiang, 831100, China

## Abstract

This paper mainly focuses on disconnectors in substation operation and maintenance. Firstly, it analyzes the key structures of disconnectors, such as contacts and insulators, and their connections with potential faults, while explaining the operation and maintenance characteristics of disconnectors during long-term operation. Then, from three perspectives of equipment, operation and maintenance, and environment, it analyzes the causes of three common faults: contact overheating, mechanical jamming, and insulation flashover, with real cases from 500kV substations as evidence. Finally, it formulates safe and standardized operating procedures and targeted treatment technologies, such as grinding and greasing for overheating, lubrication and correction for jamming, and flaw detection and component replacement for flashover. This research provides technical support for improving the operation and maintenance quality of disconnectors and ensuring the safe and stable operation of power grids, and has practical application value.

## Keywords

Substation Operation and Maintenance; Disconnector; Contact Overheating; Mechanical Jamming; Insulation Flashover

# 变电运维中隔离开关常见故障分析与处理

邢文静 张冰丽 夏中华 马小燕

国网新疆电力有限公司昌吉供电公司, 中国·新疆 昌吉 831100

## 摘要

本文主要围绕变电运维里的隔离开关展开探讨, 先是剖析隔离开关触头、绝缘子等关键构造及其与可能出现故障的联系, 同时说明隔离开关长时间运行时运维方面呈现的特点。接着从设备、运维、环境三个不同角度分析接触过热、机械卡涩、绝缘闪络三种较为常见故障出现的原因, 并结合 500kV 变电站的真实事例作为证明。最后制定出安全规范的操作流程以及有针对性的处理技术, 如针对过热情况进行打磨涂脂, 针对卡涩问题进行润滑校正, 针对闪络现象开展探伤换件等, 此项研究为提高隔离开关的运维质量、确保电网安全稳定运行提供技术方面的支持, 具备实际应用的价值。

## 关键字

变电运维; 隔离开关; 接触过热; 机械卡涩; 绝缘闪络

## 1 引言

隔离开关作为变电系统中的关键设施, 起着隔离电压、保障检修安全等重要作用。其运行的稳定性对电网供电的可靠性有着直接影响, 在长期运维过程中, 隔离开关会频繁出现接触过热、机械卡涩、绝缘闪络等故障。这些故障很容易引发停电事故, 所以深入探究隔离开关故障产生的原因、制定科学合理的处理方案, 对于提高变电运维水平、保证电网的安全运行具有重要的现实意义。

## 2 隔离开关的结构特点与运维属性

### 2.1 隔离开关核心结构解析

隔离开关的核心结构涵盖触头、绝缘子、传动部件、

基座及操作机构等部分, 其中触头分主触头与接地触头, 主触头以钳夹方式实现电路连通与切断, 接地触头为保障检修安全而设。绝缘子采用瓷质或复合材质, 具支撑与绝缘两个重要功能, 传动部件含连杆、齿轮等, 其作用是传递力量以保证分合闸达一定精度。基座由钢质材料构成, 功能是固定位置并承载重量; 操作机构分电动、气动、手动三种类型, 以适配不同变电场景。

### 2.2 结构特性与潜在故障的关联性

若触头压力不够或其接触面发生氧化, 易导致接触电阻增大进而引发过热故障。若绝缘子表面有污秽堆积或出现老化现象, 会使绝缘性能降低从而引发闪络故障, 若传动部件缺少润滑或出现磨损, 会造成机械卡涩。在操作机构中, 电动式的碳刷若磨损、气动式的气密性有所下降, 都有可能

【作者简介】邢文静(1990), 女, 土家族, 中国重庆人, 硕士, 工程师, 从事供配电系统研究。

### 2.3 隔离开关在长期运行中的运维特征

其长期处于合闸状态，分合闸操作频率低，易因静态老化产生故障。运维中需每周巡检柜体锈蚀情况，每日用红外测温监测触头温度并监听异响，控制环境温湿度防绝缘子绝缘降效，每月手动操作测试机构灵活性及联锁可靠性，同时记录运维数据，通过趋势分析预判设备状态，提前处置隐患。

## 3 变电运维中隔离开关常见故障类型与原因分析

### 3.1 接触过热故障分析

接触过热是红外巡检中高频发现的故障，常表现为主触头、接线端温度超规程阈值（通常 $> 80^{\circ}\text{C}$ ），严重时伴随金属部件变色。从三维度归因：设备自身层面，触头采用的铜合金材质长期通电易形成氧化膜，且大电流工况下接触面易因热胀冷缩产生变形，导致接触电阻激增；运维操作层面，安装时若力矩扳手使用不当，易造成触头压力不足，或检修后未清理接触面残留的氧化碎屑；环境层面，潮湿环境会加速触头锈蚀，沿海地区盐雾还会附着于接触面形成导电通道，进一步加剧过热风险，若未及时处置可能引发触头烧毁。

### 3.2 机械卡涩故障分析

机械卡涩现象对倒闸操作安全性造成直接影响，故障发生时呈现分合闸操作力矩超乎正常水平增大，或操作到位信号未能正常反馈的情况，导致该故障原因可从以下几方面剖析。设备本身方面，传动部件中钢质连杆因长时间使用，致材质疲劳进而形变，且齿轮相互啮合部位因未采用耐磨涂层，易出现齿面磨损现象。运维操作方面，定期维护未按规定周期（一般每季度）对传动部件添加专用润滑脂，或调试时未准确校准拐臂角度致传动比出现偏差，环境层面，户外隔离开关传动机构易受雨雪天气侵袭致部件锈蚀、卡滞、且粉尘不断堆积填充到齿轮间隙阻碍正常传动<sup>[2]</sup>。

### 3.3 绝缘闪络故障分析

绝缘闪络多发生于恶劣天气，表现为绝缘子表面出现蓝色放电弧光，伴随“滋滋”异响，严重时击穿绝缘导致接地故障。三维度原因：设备自身层面，瓷质绝缘子存在制造缺陷（如内部气泡），或复合绝缘子伞裙老化出现裂纹，降低绝缘强度；运维操作层面，清扫绝缘子时若使用硬质工具划伤伞裙，或预防性试验时未准确检测绝缘电阻；环境层面，雾霾天气中绝缘子表面易附着污秽物，遇潮湿形成导电层，且雷电过电压会突破绝缘子耐受阈值，诱发闪络事故。如表1所示

表1 绝缘闪络故障原因分析及防范措施表

维度	具体原因	故障表现	影响后果	防范与改进措施
设备自身层面	①瓷质绝缘子制造缺陷，如内部气泡或烧结不均；②复合绝缘子伞裙老化、龟裂、脱落。	绝缘强度下降，放电初期沿表面产生蓝色弧光，伴“滋滋”声。	易导致相间或相地放电；严重时绝缘击穿，引发线路接地故障。	加强出厂检验与周期性检测；更换老化、开裂绝缘子；在运行中采用红外或紫外检测手段早期识别缺陷。
运维操作层面	①清扫时使用硬质工具划伤伞裙表面；②预防性试验中绝缘电阻检测不准确或未发现隐患。	局部放电路径提前形成，运行中易被电场强化导致闪络。	造成闪络电弧蔓延，威胁设备安全运行。	规范带电清扫作业；使用软质毛刷或喷雾清洗；完善试验标准，使用精密绝缘测试仪提高检测准确度。
环境层面	①雾霾、粉尘、盐雾等污秽沉积；②潮湿天气形成导电膜层；③雷电过电压冲击超过绝缘耐受阈值。	绝缘子表面电场分布不均，出现沿面放电与闪络弧光。	引发跳闸、接地、线路损坏等事故；在高压场景下甚至造成连锁停电。	定期清洗污秽区绝缘子；增设防污伞裙或涂覆憎水涂层；完善防雷与过电压保护装置。

### 3.4 某500kV变电站隔离开关综合故障案例分析

2013年7月，某500kV变电站2号主变220kV侧20023、20024刀闸触头发热异常，红外测温显示B、C相触头超温，定位三号、六号接触面故障，拆解发现氧化物与干涸导电膏致接触电阻增大，经打磨清理、重涂导电膏后恢复正常。2019年11月，该站隔离开关合闸时C相异常，控制回路正常但电机热继电器动作，排查二次回路无异常后，发现隔离开关与地刀机械闭锁连杆老化卡死、固定件形变，更换连杆并校正后恢复操作。参考案例，此类变电站252kV GIS隔离开关对地闪络多因绝缘下降，或绝缘子积污受潮、存在制造缺陷，需加强绝缘预防性试验与湿度控制。

## 4 隔离开关常见故障的处理流程与技术看案

### 4.1 变电运维故障处理的安全规范流程

故障发生后，运维人员借电力调度自动化系统获取故

障间隔电流、电压波形数据，初步判断故障类型及影响范围，随即向调度中心申请隔离故障设备，通过远程或现场手动操作拉开故障隔离开关两侧断路器切断电源，在设备柜体、操作把手挂“禁止合闸，有人工作”标识牌，并在设备四周设1.5米半径安全围栏。运维团队到场后按“先验电、后接地”准则，选用适配电压等级验电器（如220kV设备用220kV验电器），在设备进线端、出线端验电，确认无电后在故障隔离开关两侧装接地电阻 $\leq 10\Omega$ 的接地线；办理工作票时填明工作任务、安全措施及时间，经签发人、许可人双重审核后作业。作业全程落实双人监护，监督操作步骤并核对设备编号（如20023刀闸），防误碰带电设备；涉及高空作业（如换绝缘子）时，作业人员系双钩安全带、用绝缘传递绳传工具。故障处理完，先拆接地线、撤围栏及标识牌，再用0-5000M $\Omega$ 绝缘电阻测试仪测绝缘（ $\geq 1000\text{M}\Omega$ ），用回路电阻测试仪测导电回路电阻（ $\leq 150\mu\Omega$ ）；试验合格后模拟分合闸3次，

检查机构动作及触点切换；向调度报结果，获许可后恢复运行，运维日志记录故障时间、原因、步骤及数据，实现闭环管理<sup>[3]</sup>。

#### 4.2 接触过热故障的处理技术

在着手处理相关部件前，利用红外热像仪确定如主触头、接线端等可能出现过热状况的部位，并记录该部位最高温度与周围环境温度的差值。若温度差值小于等于40℃且部件金属表面无变色迹象，相关操作人员穿戴好绝缘手套和绝缘靴，借助绝缘操作杆固定触头，用0号细砂纸沿触头接触面纹理单向打磨去除表面氧化层，打磨后用无水乙醇擦拭该部位，涂抹一层厚度约2毫米、导电率不低于 $10^4\text{S/m}$ 的电力复合脂，最后按产品说明书规定的力矩值（M12螺栓力矩范围30-35N·m，M16螺栓力矩范围45-50N·m）拧紧螺栓。若温度差值大于40℃或部件出现烧蚀，则先停止设备运行拆解触头组件，检查时若镀银层脱落面积超过15%或触头表面有凹坑就予以更换，重新组装时确保触头处于对中位置且钳夹式压力不小于800N，组装完成后先在空载状态下测量温度，加额定负荷持续运行1小时后再次测量，此时温度差值应小于等于30℃，同时记录处理前后回路电阻值（要求该值小于等于 $120\mu\Omega$ ）以验证处理效果。

#### 4.3 机械卡涩故障的处理技术

在实施处理措施前先切断操作机构电源，接着利用手动摇柄操作隔离开关，依据力矩变动及异响位置确定卡涩具体点位。摇合中若感力矩逐步增大且无明显异常响声，多因传动部件润滑程度不足，若力矩突变并伴有“卡顿”声，可能是闭锁连杆变形或异物阻塞。针对润滑稍不足，拆解连杆与齿轮连接部位，用棉布蘸煤油清理旧油脂与灰尘后均匀涂抹滴点大于等于200℃的硅基润滑脂，润滑后手动操作3次，确保产生力矩小于等于设备额定值（如12kV隔离开关力矩小于等于150N·m）。若确定闭锁连杆变形，用百分表测量连杆直线度，偏差超0.5mm用液压校正器矫正，变形严重则更换原规格连杆；若发现异物（如金属碎屑、昆虫尸体等），用绝缘钩针清理异物并检查传动槽道磨损情况，磨损深度超1mm进行补焊打磨处理。处理工作完成后开展分合闸试验，电动操作时记录动作时间（要求动作时间小于等于10s）并观察辅助开关切换是否同步，通过手动操作验证力矩均匀性，同时检查机械闭锁装置分合闸到位后能否可靠锁止以确保无再次卡涩风险，最后详细记录处理前后操作参数形成技术档案。

#### 4.4 绝缘闪络故障的处理技术

故障发生后立即通过调度切断故障回路，避免持续放电损坏绝缘件，现场设置安全围栏并监测周边电场强度（要求 $\leq 100\text{V/m}$ ）。先采用超声波探伤仪检测绝缘子内部，若未发现裂纹、气泡等缺陷，多为表面污秽或受潮导致：用高压水枪（水压 $\leq 0.3\text{MPa}$ ）冲洗瓷质绝缘子表面，复合绝缘子则用蘸有无水乙醇的抹布擦拭，晾干后涂刷RTV防污闪涂料（厚度50-80 $\mu\text{m}$ ）。若探伤发现内部缺陷，需更换同型号绝缘子，更换前检测绝缘电阻（ $\geq 1000\text{M}\Omega$ ，2500V兆欧

表），安装时确保法兰密封胶圈无破损，螺栓力矩按说明书要求（如110kV绝缘子螺栓力矩25-30N·m）紧固。处理后开展工频耐压试验：220kV设备施加395kV电压持续1min，500kV设备施加510kV电压持续1min，无击穿、闪络现象为合格；同时监测设备运行环境温度，当相对湿度超85%时开启除湿装置，每月用红外热像仪检测绝缘子温度分布（温差 $\leq 5^\circ\text{C}$ ），每季度复测绝缘电阻，建立绝缘性能跟踪档案，防范闪络故障复发<sup>[4]</sup>。

#### 4.5 某变电站隔离开关故障处理综合案例分析

2017年2月12日晚，某220kV变电站运维人员开展熄灯巡视与红外测温时，发现3号主变7033闸刀C相主变侧桩头温度达94.3℃（环境温度10℃，正常B相仅23.4℃），当即按异常处理流程汇报班组长及运行专职。经班组长联动监控中心、调度许可停役3号主变后，检修人员完成消缺，验收合格恢复送电，送电后监测数据正常、后台无告警，实现闭环管控。某工业厂房美标ULMV金属封闭负荷隔离开关，红外热成像仪检测显示触头温度升至120℃，停电后发现一颗连接螺栓松动、触头烧蚀。维修人员用扭力扳手按UL规范扭矩紧固螺栓，以0号细砂纸单向打磨触头去除氧化层与烧蚀坑洼，涂抹2mm厚导电膏，通电测试时热成像仪监测显示三相电流偏差 $\leq 5\%$ ，设备恢复正常。某商业建筑同型号隔离开关手动合闸时手柄断裂致半合闸，检查发现手柄因老化内部开裂、操作孔残留碎块。维修人员清理碎块后更换同规格手柄，安装后手动分合闸测试5次，确认操作力矩 $\leq 80\text{N}\cdot\text{m}$ 且到位，功能恢复。另据《高压开关设备典型故障案例汇编》，某500kV变电站252kV GIS隔离开关对地闪络，停电解体发现绝缘子表面有放电痕迹与污秽，检修人员用无尘布擦拭后，再用介损值 $\leq 0.001$ 的绝缘清洗剂清洁，经2500V兆欧表测试绝缘电阻 $\geq 1000\text{M}\Omega$ 后重新安装，设备恢复运行。

### 5 结语

通过对隔离开关构造及运维特点分析、多角度深入剖析三种常见故障产生原因并结合实际案例，针对性提出规范性处理流程与可行技术方案，为隔离开关故障妥善处理提供全方位系统性有力支持。研究表明准确找到故障根本源头，且严格依相关安全规范操作，是确保隔离开关稳定可靠运行的核心要点。后续可对智能化监测技术进一步钻研摸索，以达成故障预先警示目的，为电网运维向精细化高效化方向发展助力。

#### 参考文献

- [1] 宁晋峰. 户外隔离开关常见故障分析与处理[J]. 农村电工, 2023, 31(05): 43-44.
- [2] 秦岭. 变电站隔离开关常见故障原因及处理方法分析[J]. 电脑乐园, 2021, 6(09): 150-151.
- [3] 盛明学, 王志清. 户外高压隔离开关常见故障的原因分析与处理[J]. 高压电器, 2010, 46(10): 93-96.
- [4] 付益强. 变电站隔离开关常见故障分析及处理[J]. 南方农机, 2017, 48(08): 3-3+13.