

# The Hazard and the Prevention Measures of the Arc Short-circuit within the Switchgear

ZHANG Zhen-tao, LI Shao-hua, XIN Zhe

(Pingdingshan Power Supply Company, Pingding Shan, Henan 467001, China)

zhzht588@yahoo.com.cn

**Abstract:** According to an accident caused by the three-phase flash burn within a 10kV switchgear, This paper analyzes the reason and characteristics of the flash circuit within the switchgear, introduces hazards of the flash circuit within the switchgear on human body, in addition, explains the prevention and protection measures of flash burn.

**Keywords:** switchgear; flash circuit; malfunction analysis; flash burn; protection measures

## 开关柜内部弧光短路对人身的危害及防护措施

张真涛 李少华 辛 喆

(河南省电力公司平顶山供电公司, 河南 平顶山 467001)

zhzht588@yahoo.com.cn

**【摘要】** 本文通过一起10kV开关柜内部三相短路电弧灼伤事故, 分析了开关柜内部产生弧光故障的原因及故障特性; 介绍了开关柜内部弧光故障对人体的危害, 阐述了防止电弧灼伤的防护措施。

**【关键字】** 开关柜; 弧光短路; 故障分析; 电弧灼伤; 防护措施

## 1 引言

2009年9月30日, 湖北某供电公司一座220kV变电站发生一起10kV开关柜内部三相短路事故, 电弧产生高温高压气浪冲开柜门, 造成2名在开关柜外进行操作检查的运行值班人员被电弧灼伤。巨大声响后, 两人全身着火, 从高压室跑出。其中一人因伤势过重, 抢救无效死亡。

开关柜是电力系统中非常重要的电气设备, 开关柜存在安全隐患是引发电力系统出现故障的原因之一。在开关柜故障中, 除了明显的设备损坏和触电死亡的危险外, 另一个更敏感的危险是电弧的热效应对人的伤害。低压系统中电弧燃烧的温度高达3000~5000°C; 而中压系统则高达20000°C。电弧燃烧期间所产生压力效应、燃烧效应(热效应)、辐射和声响效应以及有毒气体, 均对人体产生严重的伤害。

## 2 开关柜内部弧光短路的故障特性

### 2.1 引起开关柜内部弧光短路的原因

引起开关柜内部弧光短路故障的原因很多, 包括结构设计不合理、制造质量不佳、设备材料绝缘老化、机械磨损、运行条件恶劣(高温、潮湿、污秽、化学侵蚀等)、大气过电压和操作过电压、用户维护不当和不按规程操作或运行人员培训不足而造成的误操作、闭锁机构失效、因主回路接触面腐蚀或连接螺栓松动导致发热、外力因素(小动物进入开关柜内、安装或维护时工具等外来物件遗留在开关柜内)、电网结构的改变(系统容量增大、接地方式的改变、电缆应用的增多、系统谐振过电压、保护及自动装置配置不当)等等。尽管开关设备发生内部弧光故障的概率不高, 但却是不能完全排除的。如果不进行适当的控制, 将会对附近操作人员和设备造成极大的危害。

### 2.2 电弧的故障效应

开关柜内部故障电弧燃烧期间产生的电弧效应包括压力效应、热(燃烧)效应、辐射和声效应, 如图1所示。这些电弧效应将损害开关设备, 并可能对附近的工作人员造成伤害。

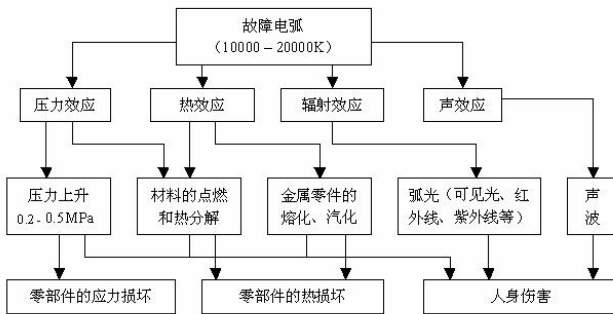


图1. 故障电弧效应及危害

Figure 1. Fault arc effects and hazards

开关柜发生内部弧光故障产生的能量可高达8~60MW，它主要与电弧的燃烧时间以及短路电流的平方值成正比，其它因素则包括柜体几何尺寸以及所使用的材料等等。电弧燃烧持续时间超过100ms，所释放的能量开始急剧增加，大约150ms左右电缆开始燃烧，200ms左右铜排燃烧，到了250ms左右钢材开始燃烧。所以，从保护设备的角度来说，目前采用变压器后备过流保护长达1.2~2.0s的动作时间，对于开关柜内部弧光短路来说其保护效果是很差的，往往是开关柜烧得面目全非保护才动作，事后故障电弧起始地点不易确定，而在这一期间电弧燃烧释放的巨大的能量对附近工作人员的伤害也是不可避免的了，特别是在开关柜门打开维修的情形。

### 3 故障电弧效应对人身的伤害

开关柜发生内部故障时，电弧燃烧所释放的巨大的能量产生的电弧效应，将对设备及附近人员造成严重的伤害。在对人的伤害方面，感应电压会侵害人的肌肉、神经；电弧燃烧产生的高温气体会使人的皮肤严重烧伤；强烈的闪光会刺伤眼睛；爆破性压力冲击波会造成开关柜门被冲开，使某些松脱的材料（比如损坏设备的碎片、工具和其它物件等）抛出对人造成伤害；爆破性的声音会造成人的耳膜、内脏震损；电弧燃烧所产生的有毒气体（一氧化碳、铝及铜蒸汽等）会伤害人的呼吸系统等。发生弧光故障时产生的明亮的弧光，还可能引起运行维护人员暂时性的失明，连同巨大的声响效应更可能引起休克，这也将增加弧光故障伤害的危险性。

开关柜内部电弧故障是一种不可预测的偶发事故。与大多数人非常熟悉的火灾情况相比，电弧故障是

一种发展非常快的事件，这是由于保护装置自动启动切除故障的原因，持续时间一般小于1秒。发生电弧故障所产生的总能量，可能大于一场严重火灾产生的能量的三、四倍，并且它是在一个非常短的时间内高度集中释放的能量，因而可能对附近工作人员造成致命的危害。另一个显著的差别是，在火灾情形由于产生火焰，我们可以看到明显的冲击，其热能大致为50%的对流热（即火焰）和50%的辐射热。而在电弧故障情形，可能存在高达90%的辐射热，它意味着可能即使是事件引起轻微的、甚至看不到火焰，都可能对附近人员造成严重的伤害。电弧故障所产生的辐射热，可能引燃附近工作人员的衣服或熔化，从而造成皮肤的二度和三度烧伤，它对人的伤害是严重的、甚至是致命的。

### 4 故障电弧伤害的防护措施

开关柜内部发生弧光故障，电弧燃烧释放的巨大能量所产生的各种故障效应，往往造成灾难性的后果。因此，必须引起我们的重视，应重点排查开关柜压力释放通道、压力盖板紧固方式、前后柜门防爆螺栓紧固等情况，采取以下防护措施。

4.1 加强设备全过程安全质量管理。严格按照有关要求设备进行选型、施工、安装和交接验收，确保手车室、母线室和电缆室均设有泄压装置，并切实有效。严格设备验收，确保开关柜内相间、相对地安全净距和主导流接触部位符合验收规范要求。

4.2 加强运行管理，保障人身安全。凡是具备远方操作条件的变电站，在断路器停电分合操作时，应采用远方操作，期间高压室内严禁有人。新建变电站开关柜保护及测控装置，应考虑组屏在控制室内安装。避免就地操作带来的不安全风险。已运行的开关柜宜按上述方案改进。

4.3 改进泄压装置。从排查情况看，多数中置柜中母线室的上方均设有泄压装置，为一长方形金属顶板或百叶板，一侧用铁螺钉固定，另一侧用尼龙螺钉固定。当柜内发生故障时，顶板变形打开，释放压力和排泄气体，泄压后顶板报废。改进措施是将顶板一侧装上铰链（合页），另一侧用尼龙螺钉固定。泄压时，顶板像门一样完全打开，泄压通道大，泄压速度快，但不会破坏顶板。

4.4 泄压装置另一个问题是用铁螺钉替代尼龙螺钉，尼龙螺钉在中置柜运输过程中容量断裂，制造厂家都是用铁螺钉先固定，配备尼龙螺钉到现场更换。

但往往被安装单位忽视，在工程验收时应将泄压装置列入验收范围，提醒安装单位更换。

4.5 防爆螺栓存在的问题是，操作人员图省事，在验收或操作后，没有紧固防爆螺栓或造成防爆螺栓的丢失。丢失的应补齐，在操作后及时紧固牢靠，切实起到防爆的作用。另外在手车摇进、摇出时，应在前柜门封闭状态下操作，不宜将前柜门打开操作。

4.6 JYN2-10型开关柜前后柜门、KYN61-40.5型开关柜后柜门均无防爆螺栓孔，只有一把五防锁，起不到防爆作用。建议打孔安装防爆螺栓。

4.7 KYN61-40.5型开关柜后柜内安装有避雷器，但没有设观察窗口。检查线路避雷器动作情况时，需打开开关柜后柜门才能看见，而后柜内部在运行情况下是带电的，存在安全隐患，应增加观察窗口，另外，观察窗应采用防爆玻璃。

4.8 GBC-35型开关柜上方母线裸露，开关柜后上方敞开，不存在泄压难的问题，但此开关柜前柜门为门把手锁，运行人员在操作开关柜内手车时，必须打开柜门操作，操作中一旦发生短路故障，操作人员无任何防护遮挡。要求加强现场管理，严格执行“操作五制”，加强对操作人员的技能培训，防止误操作。手车拉出后，必须对前柜门采取封闭措施，悬挂“止步，高压危险”语音标示牌，防止操作及检修人员误入间隔。对手车柜每次推入柜内之前，必须检查开关位置，杜绝在合闸位置推入手车。

4.9 运行操作人员在开关设备附近工作时，应穿戴合适的个人防护装备(防护手套、防护外套、防护面罩及防护眼镜等)。采用个人防护装备的目的，是在发生电弧故障时为工作人员提供逃离的时间，并减少电弧热效应的烧伤程度，从而增加事故受害者的生存机会。一旦发生衣服被电弧引燃时，应迅速扑灭其身上的火源，着火者切忌跑动，可利用衣服、被子、湿毛巾等扑火，必要时可就地躺下翻滚，使火扑灭。

4.10 将开关柜内布置的干式变压器更换为室外布置的接地变。为中性点不接地的电力系统提供一个人为的中性点，然后经一个消弧线圈接地，与消弧线圈一起构成电力系统的接地保护。防止系统单相接地故障时接地点的间歇电弧对系统产生过电压而扩大事故。

4.11 大力推广接地保护技术。10~35 kV系统属小电流接地，由于接地保护一直未能很好解决，需要人工查找接地线路，时间长引发了一些相间短路，使

事故扩大化。目前，随着技术的不断发展，国内外已实现了小电流接地系统继电保护的选择性，即当发生单相永久接地故障后，在整定的时间内可以自动跳开故障线路，无需人工进行查找切除。这一技术的采用，极大的减少了10~35 kV系统单相接地持续时间，从而大大降低了单相接地事故扩大化的概率。因此，建议重要厂站应安装接地选线装置。

4.12 配置高速电弧光保护。电弧光中低压保护是基于检测开关柜发生内部故障时发出的弧光为主，采用过流作为闭锁条件，即保护系统只有同时检测到弧光和过流时才发出跳闸指令，因而具有高速及可靠的动作性能。检测可见光的电弧光母线保护在一些国家已成为中、低压母线保护的标准配置。采用这种新原理的保护所提供动作时间为5~7ms，加上断路器35~60ms的分闸时间，对于开关柜各单元室的故障总清除时间可保证在100ms以内，这样在电弧排放阶段开始时就启动断路器跳闸切断供给燃弧点的短路电流，故障电弧释放的能量大大减少，从而也大大降低电弧效应对设备及人员的伤害。

## 结语

通过提高工作人员安全意识，规范操作行为，加强开关柜的结构，采用消弧消谐装置，在一定程度上可以限制弧光短路故障的发生；采用接地保护，在整定的时间内可以自动跳开故障线路；采取专用中低压母线保护系统，在开关设备的耐受弧光短路故障额定时间以内切除故障，可将弧光短路故障造成的损害减到最小。通过我们的不断探索积累，防护电弧灼伤事故的措施会不断完善，愿悲剧不再发生。

## References (参考文献)

- [1] Su imitation, the use of high voltage switchgear and fault detection, technology innovation Guide, 2009 (19)  
苏仿, 探讨高压开关柜的使用及故障检测, 科技创新导报, 2009(19)
- [2] PAN Zhen-cun, etc., in the low bus need to install special relay and several programs of study, Network technology, 2002 (9)  
潘贞存等, 中低母线加装专用继电保护的必要性和几种方案的探讨, 电网技术, 2002 (9)
- [3] Wu Jiang, Liu Chengpeng, High Voltage Switchgear and use of common faults introduced, the public science and technology, 2004 (09)  
吴江, 刘成鹏, 高压开关柜常见故障及使用介绍, 大众科技, 2004 (09)
- [4] ZHANG Jian, Zhang Yi Zhong, On the issue of Safety Net Space in High Voltage Switchgear [J]; ELECTRICAL; 02, 2005

张建安, 张颐钟, 谈高压开关柜的安全净距问题[J];江苏电器;2005年02期

[5] Tang Xiaotian. Mid switchgear meet the requirements to run several operating improvement [J]. Zhejiang Electric Power, 2006 (3).

邓笑天. 中置式开关柜适应运行操作要求的几点改进[J]. 浙江电力, 2006 (3).