

# 35kV 电缆头击穿事故的分析思考

谢江平

新疆伊河电力有限责任公司

DOI:10.32629/hwr.v3i10.2458

**[摘要]** 35kV电缆头安全事故屡屡发生,电击穿事故是常见类型之一,也是重大安全事故。通常来说,行业内冷缩附件事故概率发生约为0.2%~0.5%(类比)。若电缆冷缩附件多次发生安全事故,首先当是挖掘安装工艺是否存在问题,其次是检测冷缩电缆附件本身的材料是否合格、设计制造工艺是否存在缺陷,以此实现从根本上解决问题。

**[关键词]** 35kV 电缆头; 电缆头击穿; 安全事故

35kV冷缩电缆终端头是融合弹性体材料(现阶段主要应用硅橡胶与乙丙橡胶)以硫化生产成型,再进行扩径、辅以施加塑料螺旋支撑物,构建出各类电缆附件的附属部件。现场安装过程中,将这些预扩张件套入处理过后的电缆终端或起始接头处,抽出内部支撑的塑料螺旋条或其他内支撑物,在电缆绝缘上压紧即完成一套电缆附件。由于其常温下主要依靠弹性回缩力,相较于热收缩电缆附件需高温加热辅助收缩来说,更加便捷高效,且安全性高,受到行业一致认可与推崇。

## 1 事故经过及成因分析

### 1.1 事故概况

某110kV变电所,主要负荷为35kV高耗能企业,35出线均为电缆出线,电缆长度为100m左右,1趟三芯电缆出线,6趟单芯电缆出线。具体故障点:35kV开关柜5Y间隔出线铁塔侧高压电缆终端A相发生击穿短路导致保护跳闸;电缆终端头中间是主要击穿点,其他两相外观无异,其中最外围一条被击穿造成短路。

该线路电缆A相在冷缩终端附件中间对地短路击穿损坏,该变电所35kV高压室开关柜3Y间隔内,电缆出线柜内C相电缆终端头被击穿损毁,电缆绝缘层已严重损坏,绝缘层上具有明显受电击穿迹象。其次,硅橡胶内部具有由于持续性放电而导致硅橡胶Y绝缘降低,柜顶泄压通道已严重变形,开关柜内具有明显的放电迹象。

### 1.2 事故成因分析

两条损坏的35kV线路皆是电缆线路,于桥架敷设。事故发生之前,变电站的35kV系统运行未显示任何异常,35kV母线电压为36.3kV,因此明确可排除线路负载超标与过电压的诱因。分析已经击穿的2个电缆头,发现2处击穿部位都位于伞裙之下的相近处。剖开电缆头进行检查发现,电缆头制作过程中的电缆主绝缘的剥开尺寸具有明显错误。

从接线远端到冷缩附件的应力锥体处,电缆绝缘介质受到电场作用的强烈影响,而绝缘层遭到损坏,导致漏电流、电损耗或间隙局部气体电离放电持续性增高,继而不断提升电缆冷缩附件与电缆绝缘层的温度。加之时间的推移,持续性积热,达到附件的温度承受临界值时,附件则会开裂、玻璃化以及碳化,电缆绝缘层逐渐击穿。其中明显可见的电缆树枝化放电现象,即是绝缘介质击穿之前的长时间的先导击穿活动。树枝化现象产生之前诱导期已经做好充足的准备,树枝化放电一旦引发,持续性的发展,直接击穿绝缘介质<sup>[1]</sup>。通常来说,电树枝的形成时间显著大于拓展时间,尤其是树枝产生之后。

树枝尖端形成强烈的电晕放电,树枝即会借此快速拓展<sup>[2]</sup>。因而正在运行的电缆受到电压反复冲击影响后,一旦形成电树枝,则会迅速予以击穿。可以说一根电缆运行过程中若形成了电树枝,即代表来到了使用寿命的终点。后续剖解本套电缆附件内容,在B相冷缩电缆附件中发现具有电树

枝现象。如图1所示的B相冷缩电缆终端头,图2的电缆绝缘层击穿部位,图3则是冷缩电缆终端附件硅橡胶长时间放电迹象。



图1 左: B相冷缩电缆终端头 右: 电缆绝缘层击穿部位

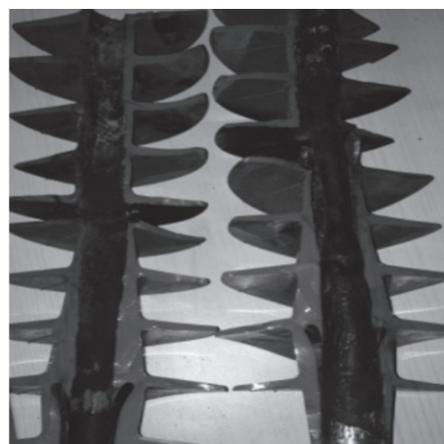


图2 冷缩电缆终端附件硅橡胶长时间放电迹象

## 2 施工工艺解析

高压电缆每相线芯绝缘外围,均具有半导体层,而半导体层之外又含有一层接地铜屏蔽层,屏蔽层之内的电场分布均匀<sup>[3]</sup>。电缆头制作过程中,若免去了屏蔽层与半导体层,即直接改变了电缆本原的电场分布,会形成对绝缘层产生危害的切向电场。免去半导体层的电力线集中聚拢在半导体层断口处,因而半导体层断口处即成了电缆最容易击穿的位置。屏蔽层本身已经接地,屏蔽层保护内的电缆对另一相电缆不会二度产生相间电位差。而免去屏蔽层后的电缆,则不再具有接地屏蔽,则会与另一相电缆间形成电位差,而这通常来说也是电缆终端处外绝缘遭到损坏放电的诱因之一。

高压电缆终端头的绝缘性能与电缆本体不相上下,甚至有过之,结构

于材料上都是改变电场分布的重要影响因素<sup>[4]</sup>。3M电缆附件的设计原理为：在半导体层断口施加一层厚度为3~5mm的电应力控制泥，作用在于解决半导体层断口部位的电场不均匀问题，防此处电位产生畸变。为确保电应力控制泥覆盖在半导体层断口处起到应有的效果，3m电缆附件的安装标准中明确要求了对应的尺寸应用范围，并配备可供安装对比使用的纸质标尺。

分析本次事故的电缆头情况内在原因主要还包括施工问题，现场施工人员并未严格参照电缆附件的安装标准要求尺寸进行施工，大部分借助其经验式操作剥开电缆，导致电缆头半导体层断口未被电应力控制泥有效覆盖，继而使得断口处电场畸变，随后产生局部高压，长时间下来最终半导体层附近局部逐渐输出高热、绝缘持续性恶化。首先击穿3Y间隔线路开关柜侧，造成C相单相接地故障。单相接地后，A、B两相由相电压上升为线电压，而后迅速延伸到5Y间隔B相出线电缆头对地击穿，最终导致两相短路故障，2#变压器差动保护跳闸。

### 3 处理措施

经过抢修补救之后，对电缆头剖开检查，再次发现诸多安装质量问题，如括电缆开剥尺寸错误、冷缩基准定位偏差等等，综合分析，电缆头的制作及安装工艺应着重把控以下几点：经验式操作尤为重要，但面对新场地、新标准，必须严格对照说明书及标尺尺寸开剥电缆；电缆开剥时，切记不可损伤主绝缘，若不慎划之，留有刀痕，轻度则用砂纸打磨光滑，重度则予以补救维护；半导体层环切口处保证足够的光滑、平整，不得存在尖角或缺口；主绝缘端口位置需处理成45°的倒角；置入冷缩终端头，定位在PVC带的标识部位，以逆方向抽取芯绳，保证收缩到位；根据电缆头相间与对地最低净距的要求，保证安装固定完工。

### 4 35kV 电缆头安装要点及注意事项

35kV冷缩电缆终端头因其具有应用简单、操作便捷以及空间集约节约使用性等特点，得到了广泛应用<sup>[5]</sup>。相较于热收缩电缆附件来说，安装过程中无需再度热处理，常温即可使用，有效精简安装时间，且受力弯曲后内部层间不会像热收缩电缆附件容易脱落。而相较于预制电缆附件，两者都是受到弹性力影响进一步实现内部界面自身功能特性，然而冷收缩电缆附件则无需与电缆截面实现一一对应，有效降低了安装难度，安装质量得到了有效保障。此值得一提的是，冷缩电缆终端头的储存过程中，全过程皆处于高张力状态，储存条件的要求较高。为确保不会影响运行性能，重点需防止冷缩电缆终端头产生畸变或是松弛现象，以此才能保证整体安装质量。

冷缩电缆附件的安装工艺要求较高，安装活动中的杂质、气隙以及尖角毛力锥的安装不到位都可成为放电击穿的直接诱因<sup>[6]</sup>。普通安装工艺为

未达到技术标准要求或带刺，都会引起固体绝缘介质沿面放电，进一步发展则会引发电缆屏蔽层切断部位的电场畸变。

冷缩电缆附件安装过程中需重点注意以下问题：(1)如上文提到的电缆开剥，开剥内护套时，需防止划伤铜屏蔽层，否则增强断口部位的电场强度，引发放电；(2)开剥铜屏蔽层时需掌控合适的力度，若不慎划伤半导体层，长期运行后很大程度上会形成气隙；(3)若开剥电缆半导体层时用力过度，主绝缘层表面具有划伤，长期运行后很大程度上会形成气隙；(4)屏蔽断开部位与半导体层断开部位的尖角毛刺必须确保平整；(5)电缆半导体屏蔽层分离后，其部位保证彻底清洁，避免有半导体残留在主绝缘上；(6)主绝缘和屏蔽断口部位应当使用硅脂膏予以填充，切实杜绝安全隐患，防止形成闪络放电；(7)冷缩附件和电缆绝缘层之间应当使用润滑硅脂予以填充，防止形成放电气隙；(8)安装冷缩附件时，应力锥部分是安装重点之一，需避免损坏形成气隙，而导致应力控制部件失去实际效能。

若以上施工要点未严格遵循施工，即会促使电场集中，尤其是运行过程中，持续性的冷热效应、弯曲效应等都会逐步扩大气隙。即使当即不会发生击穿，但主绝缘层内部也会形成电树枝，且呈四方纵深发展，加速绝缘层故障恶化，继而形成冷缩电缆附件击穿问故障。

### 5 结语

35kV是在是等级较高的电压，担负着一个区的供电重任，电缆终端的施工工艺与电力电缆可否正常、安全与可靠运行具有直接连带性，首先必须熟练运用冷缩电缆终端头的制作工艺，严格按照电缆终端头制作工艺标准进行施工，施工人员必须明晰交联电缆结构与附件特性，促进从本质上了解且掌握制作工艺要求，而此外需加强电缆头制作过程中开剥活动的力度与各细点的控制。

### [参考文献]

- [1]冯卫国,金之麟.35kV电缆头击穿事故的分析 and 思考[J].电工技术,2018,(13):90-91.
- [2]梁小荣.一起风电场35kV电缆中间接头绝缘击穿事故分析与改进措施[J].通讯世界,2017,(13):192-193.
- [3]陈海平.一起典型35kV开关柜复合绝缘击穿事故分析及整改措施[J].四川电力技术,2013,36(06):81-83.
- [4]高宁,张群刚,张志强,等.某风电场35kV电缆头击穿事故初步分析[J].西北水电,2013,(05):64-67.
- [5]杨建军.35kV电力电缆击穿事故原因分析[J].企业技术开发,2012,31(01):52-53.
- [6]郝建军,马宏继,段静茹.变电站35kV电缆头击穿事故原因分析及处理[J].内蒙古电力技术,2009,27(1):107-108.