

矿山企业井下电力电缆进水防护技术应用及探讨

范廷卫 张家明 王庭剑

(云南驰宏锌锗股份有限公司会泽矿业分公司, 云南 会泽 654200)

【摘要】 矿山是国家重要的资源、能源产业提供基地, 电力供应对于矿山安全生产起着至关重要的作用。现代任何一个矿山都离不开电力供应, 但是对于矿山电力设备和电力系统容易出现故障和安全隐患, 一旦发生事故引发巨大的生产和经济损失甚至人员伤亡。因此, 保证矿山供电是矿山安全生产的重要保障, 下面以作者所在矿山井下介绍电力电缆在生产过程中易出现的常见问题。

【关键词】 电力电缆; 电缆进水; 故障; 电缆中间头; 热缩工艺; 冷缩工艺; 电缆模注熔接

一、电力电缆自身结构问题

矿山井下电力电缆的结构问题造成故障是较为常见的原因之一。其中, 导体的接触不良、断线、接头引起的故障比较常见, 其原因主要有以下几个方面: 一是腐蚀: 线路遭受污染、化学物质侵蚀等, 长期使用后会出现腐蚀, 破坏导体表面存在的保护层, 进而影响导体的正常工作, 出现故障; 二是绝缘受损: 电缆绝缘受破坏的情况会导致电器电压下降、接触不良等现象。另外, 绝缘体分解的产物也会与导体接触, 引发局部放电。

二、电力电缆运行环境问题

矿山井下的生产环境十分苛刻, 高温、潮湿、灰尘、酸碱气体等都对电力电缆的运行产生一定的影响。环境因素引起的电力电缆故障的原因有以下几点:

一是潮湿: 井下环境潮湿, 导致电力电缆长期遭受潮湿, 导致绝缘性能下降, 甚至造成绝缘击穿导致短路故障; 二是酸碱气体: 井下生产过程中, 腐蚀和氧化物惯性的酸雾和碱雾环境, 夹杂着灰尘、水分等物质, 对电线电缆的绝缘、防腐性能会产生影响, 导致材料老化、断裂等故障。

三、电力电缆中间头制作缺陷问题

井下电力电缆敷设因受空间条件所限, 电力电缆很少整根从受电起点至受电终端变压器高压侧或从地表降压站至井下中央配电室整根敷设, 这就导致受电起点至受电终端有多个中间接头, 竖井内电缆接头按标准设计都在中段马头门位置。

电缆中间接头制作缺陷是电力电缆故障的主要原因之一。以下是造成设计缺陷故障的原因: 一是电力电缆带负荷工作: 电缆工作在高负荷的过程中, 电缆中间接头电阻增大(接头电阻本就大于原电缆铜芯电阻)会导致电缆中间接头发热严重, 从而引起故障; 二是电力电缆接头设计不合理: 接头处设计不合理, 容易形成半导体层等局部电压过高, 损坏绝缘体, 导致电缆接头击穿爆炸而发生故障。

四、电力电缆进水防护研究

(一) 热缩和冷缩接头制作工艺

目前电缆中间接头制作工艺分两种: 热缩工艺和冷缩工艺, 这要依制作环境要求来选择, 所在矿山为金属非金属矿山, 井下无易燃危险气体, 两种电缆头制作工艺都可以使用。虽然制作材料上各有优缺点, 但在线芯绝缘密封处理都是一样, 很难对电缆线芯绝缘密封处理达到原电缆绝缘密封一致或接近。

某企业使用的电力电缆全是交联电缆, 它的结构是由外向里是由电缆的外护套、金属铠装、内护套、填充物、铜屏蔽层、外半导层、绝缘层、内半导层、导体、线芯等构成。电缆头制作要求: 要使电缆在任何环境下能够安全运行, 为了实现这一点, 必须控制四个关键因素: 密封、绝缘、电场均衡分布控制、工艺等要素。密封性: 热缩附件的最大缺点就是自身不具有弹性, 环境温度变化、电缆运行负荷变化电缆热胀冷缩时不能及时与电缆同“呼吸”, 易导致“电缆呼吸”所发生的绝缘之间的空隙, 形成的击穿事故; 冷缩电力电缆附件实际上就是弹性电缆附件, 也就是

利用液体硅橡胶本身的弹性在出厂时扩张好放入塑料及支持条。到现场施工制作套到指定位，抽掉支持条使其天然收缩，这类附件就是冷缩的电缆附件，是以冷缩附件具有良好的“弹性”，可以随环境温度变化、电缆运行中负载变化发生的电缆热胀冷缩时，其绝缘护套也同时变化，即减缓了“电缆呼吸”所发生的绝缘之间的空隙，形成的击穿事故。故冷缩的附件适用于温差大、受气候环境影响大的地域使用是最好的选择。绝缘性：热缩附件是多种复合材料混合而成，经辐照、加工具有热收缩功能。其单位绝缘指数为，是以设计厚度要比硅橡胶材料绝对厚3—4mm单位，即：15—16mm厚才可以达到安全运行要求。热缩电缆头的收缩温度为100℃-140℃，在安装时，要用喷灯加热分层加热内护套、外护套，温度达到才可以满足它的收缩条件。当加热温度低时，因为电缆的热膨胀系数与热缩材料的膨胀系数分歧，就有可能在80℃以下的环境发生脱层，易出现裂缝，导致水和潮气就会在电缆“呼吸”运行变化下进入，从而破坏薄弱的绝缘，这就是热缩材料的缺点。这对工艺制作人员控温很关键，易“温高过糊，温低不粘”现象；全冷缩附件其功能指数为24kV/mm设计运行厚度在应满足12mm厚，可以耐受雷电冲击和过电压的冲击考验。冷缩硅橡胶材料具有良好的弹性，只需设计合理，其自身的回弹性具有足够的抱紧力，不论环境发生热胀或冷缩，冷缩附件都包管紧紧抱着电缆被抱的部位。也就防止水和潮气的吸入，其内爬电距离就得到很好的限制，同时全冷缩电缆头的内爬距离在理论上只需70mm就足够了（但从安全考虑，建议施工安装距离为90mm。）。电场均衡分布控制：热缩电缆头的电场处理方法是用电场参数法改变电场的分布，必须依附两个次要参数：A、体积电阻：108—11Ω；B、介电常数为25；因为其生产工艺复杂，受使用环境影响变化大，所以难以控制参数的波动，对产品的质量波动就会发生影响。冷缩电缆头的电场处理时利用几何法，通过应力锥改变电场分布的，是用必定的几何外形和精确的R角度来解决的，这种方法比较容易控制和检验。在出厂时就可以确保和实现。热缩与冷缩型电力电缆附件的综合功能对比如表1。

表 1 分析热缩与冷缩型电力电缆附件的综合功能对比表

	热缩电力电缆附件	冷缩电力电缆附件
材料	橡塑材料	硅橡胶
弹性	差	好
结构	电应力控制管、外绝缘护管及伞裙等分开，配套施工安装。	应力锥、外绝缘护管及伞裙为一体
地线连接	采取恒力弹簧、无需焊接	采取恒力弹簧、无需焊接
收缩方法	用喷灯加热	抽取芯线
电场控制	参数应力管	几何应力锥
局部放电	大	小
施工环境要求	只要无水淋环境	控制湿度要求高
施工周期	5 个小时	3 个小时
外形	欠美观	美观

根据以上的分析，冷缩电缆头和热缩电缆头具有实质的不同，但只需在正常的条件运行都可符合安全的请求，但都有一个共同缺点：电缆进水沿线芯进入到中间接头绝缘薄弱位置，都无法解决水汽进入铜芯形成“水树”爬电、发热，运行时间一长会导致电缆漏电、短路等故障。

（二）交联聚乙烯绝缘电缆

对于交联聚乙烯绝缘电缆来说，它耐局部放电性能差，受杂质和气隙及水分影响很大，在这些缺陷处易产生局部电场集中，发生局部放电。热膨胀系数大，热机械力效应严重。此外，由于运营中弯曲变形、冷热作用，金属屏蔽层与绝缘层之间就更容易产生气隙，气隙局部放电，虽然不会及时导致整个介质击穿，但是绝缘内部空隙处逐渐形成电树枝，并向纵深发展，绝缘加速老化直至发生绝缘电击穿或热击穿；同步金属屏蔽断口处如果有尖角毛刺，此处就会存在集中高场强，引起绝缘介质树枝状裂纹，浮现树枝状放电。电树枝在发展中必然随着局部放电，而局部放电又增进树枝生成与成长。

交联电缆绝缘对绝缘微孔杂质及半导体屏蔽微孔及凸起尺寸规定非常高。事实上，交联电缆质量水平特别是其长期性能，本质上是由绝缘材料、绝缘内微孔杂质和半导体屏蔽微孔及突起尺寸决定，

因而，划伤受损主绝缘或半导体层都会人为地扩大绝缘内微孔杂质和半导体屏蔽微孔杂质尺寸，使得击穿电压下降。可见，在电缆接头制作时，要严格执行电缆头制作工艺原则，关键控制主绝缘、半导体层完整性就是首要前提。

（三）电缆模注熔接技术

电缆进水防护技术近五年来出现了电缆模注熔接技术，电缆模注熔接接头是新一代电力电缆中间头制作连接技术，电缆模注熔接恢复电缆本体连接技术彻底解决了电缆附件与电缆绝缘之间配装产生的活动界面的根本问题，为电缆系统提供一种更高的电气稳定性和安全可靠性的电缆连接技术。

电缆模注熔接不是附件，是按照所连接电缆的原始结构，通过生产电缆的制作工艺实现电缆与电缆连接，主要体现在无需应力锥、无活动界面的融融结构，接头处的导体、内半导、主绝缘和外半导完全是按照电缆的原有结构恢复本体，避免电缆的回缩以及因附件与电缆之间由于材质不同而产生气息、活动界面所导致的问题，使电缆接头处成为完整的电缆而没有接头的概念，其电场分布和电气稳定性与原电缆本体形成了一致的共性，突出了电缆模注熔接对高压电缆连接电气性能高可靠性的重大意义，对比效果如表 2 所示。

表 2 电缆模注熔接电缆中间头检测结果（使用电压 6kV 为准）

序号	项目	检测方式	检测数据	判定结果
绝缘检测				
1	绝缘检测	三相对地	无穷大	合格
2		相与相	无穷大	合格
耐压试验				
1	耐压试验	6.2KV	10 分钟	合格
2		8.4KV	10 分钟	合格

电缆模注熔接优点：导体采用放热焊接技术，导体等径、低电阻、高强度、焊接点永不老化，经受起故障电流冲击和长期大电流运行，持久可靠的电气连接。导体焊接处的拉断力与本体的比值为 91.2%，导体接头的抗拉强度达到其本体强度的 80% 以上；现场分层注熔，内外半导、绝缘本体与原电

缆无缝隙熔融结合、无界面，防水性能好；铜芯熔接，修复处电缆可弯曲、无需担心电缆拖动造成影响；对环境温度湿度要求不高绝缘与电缆绝缘无气隙界面熔融结合，结构上形成与电缆一致的整体而无明显的接头特性，绝缘强度与原电缆一致，具有更高的电气绝缘和运行稳定的耐久性能。

电缆模注熔接缺点：造价贵、制作时间长，制作安装一套中间电缆头价格高（是普通中间头的 8—10 倍），施工时间需 8 个小时。施工安装时，熔接设备配置多，人员配置多于正常 2 倍。建议此工艺主要用于井下主干电缆中间接头制作，确保井下主干供电线路的安全稳定运行。

结语：

供电系统是矿山生产的核心，对于矿山生产的每个环节都不可或缺，其设计的有无和运行的良好与否关系到整个矿山安全运行的保证。在矿山中，配电系统是供电系统中至关重要和薄弱的环节，也是矿山供电安全重中之重。需要拥有完善的配电系统，同时也需要安全稳定供电线路。矿山供电设备需要定期进行保养和检修，确保设备的正常使用和高效运行。井下电缆巡查中，所在单位引进红外热成像技术，重点检查供电线路中间接头薄弱环节，防止中间接头异常易短路等现象的发生，提前发现隐患及时消除。同时，在进行设备维护和检修时，必须遵循相应的规定和要求，确保制作工艺达标，确保线路长期稳定运行。总的来说，为了保证矿山企业供电安全，需要贯彻安全至上的理念，制定严密的制度和教育管理体系，全面加强安全生产和管理，倡导科学的操作技术和作业方式，提高矿山人员对矿山供电安全的认识和意识，加强安全供电检查并建立完善的故障应急预案，为矿山供电设备及其系统提供完善可靠、长周期安全保障。

参考文献：

- [1] 陈杰. 高压电力电缆进水检测、状态评估及防护技术 [R]. 江苏省，国网江苏省电力有限公司电力科学研究院，2018-12-12.
- [2] 李鹏. 电力电缆故障分析与检测技术研究 [J]. 电工材料, 2023, (06)