

基于缓冲层烧蚀现象探讨高压电缆纵向阻水的必要性

范玉军，李华春

1 背景

近年来,国内高压电缆因缓冲层烧蚀而导致的击穿故障已多次出现,引起了电缆行业的高度关注。出现烧蚀现象的电缆其共性特征是电缆的金属套为皱纹铝套且缓冲层中含阻水型半导电缓冲带,多数有受潮的迹象,见图 1。



图 1 阻水型半导电缓冲带阻水粉析出和烧蚀

关于烧蚀现象的原理近几年诸多机构做了大量的研究工作,对烧蚀的认识也基本达成了共识,不再赘述。

对于存量电缆,目前既没有有效的措施来发现阻水层烧蚀隐患的方法也没有有效消除可能存在隐患的方案。对于增量电缆,平铝护套是解决接触不均匀问题的一种解决方案,目前北京、厦门等城市已经开始试用,使用效果良好。

阻水层烧蚀问题的根本原因是因为阻水带的存在,本文从电缆阻水带角度出发,对高压电缆阻水性能的必要性开展了一些梳理工作。

2 国内阻水型高压电缆结构概况

为了描述问题方便,本文讨论的纵向阻水性能暂不考虑导体的阻水。高压电缆的阻水与

金属套类型相关,金属套包括皱纹金属套、平板金属套和金属箔复合塑料的综合护套等类型,到目前为止国产的陆地用高压电缆绝大部分采用皱纹铝套一种类型,特殊场合或用于出口时会有少量的铅套或综合护套电缆,部分区域开始试用平铝护套。皱纹铝套高压电缆在国家标准中定义的型号为 YJLW03(聚乙烯外护套)或 YJLW02(聚氯乙烯外护套),如果是具有纵向阻水功能,其型号为 YJLW03—Z 或 YJLW02—Z。

3 国内阻水型电缆用半导电带概况

高压电缆缓冲层所使用的半导电带大体可分为两大类,一类为非阻水半导电带,另一类为含阻水粉的阻水型半导电带,具体见表 1。

表 1 半导电带

非阻水型半导电带	半导电无纺布带(布+布)
	半导电缓冲带(布+棉)
阻水型半导电带	半导电阻水带(布+布)(阻水粉)
	半导电缓冲阻水带(布+棉)(阻水粉)

据了解,国内高压电缆受日本技术路线影响金属护套采用皱纹铝护套为主,1998 年左右开始出现了缓冲层纵向阻水的要求,起初是用进口的带材,采用阻水带加金属丝布的结构,价格较贵,从 2004 年左右阻水带实现了国产化,大概从 2007 年开始,为了降低成本研发了采用蓬松棉的厚阻水带(半导电缓冲阻水带)并取消了金属丝布。关于非阻水型半导电带和阻水型半导电带的比例情况,调研了国内三家带材的供应商,具体见表 2。

表 2 阻水型半导电带销量占比

供应商	阻水型半导电带/半导电带(含阻水和非阻水)的比例
A	80%~90%
B	98%~98.5%
C	98.7%

4 国内阻水型电缆的占比

为了解纵向阻水型高压电缆在高压电缆中的占比情况,对国内主要高压电缆制造商也进行了问卷调研,结果见表 3。

表 3 国内纵向阻水/非纵向阻水电缆的占比统计

供应商序号	纵向阻水型占比	非纵向阻水型占比	供应商序号	纵向阻水型占比	非纵向阻水型占比
1	100%	0	14	100%	0
2	80%	20%	15	100%	0
3	100%	0	16	100%	0
4	90%	10%	17	60%	40%
5	50%	50%	18	100%	0
6	100%	0	19	80%	20%

7	100%	0	20	100%	0
8	100%	0	21	70%	30%
9	100%	0	22	100%	0
10	100%	0	23	100%	0
11	100%	0	24	80%	20%
12	100%	0	25	100%	0
13	20%	80%			

注 1: 数据由宝胜高压、青岛汉缆、重庆泰山、特变电工鲁缆、普睿司曼（江苏）、沈阳古河、中天科技、亨通高压、宁波东方、杭州电缆、浙江晨光、杭州华新、远东电缆、上上电缆、宁波球冠、江苏东峰、江苏中超、无锡曙光、扬州曙光、浙江万马、福建南平、山东泰开、LS 红旗、广州南洋、四川明星等 25 家制造企业提供。

注 2: 高压电缆包括 110kV 和 220kV 两个电压等级。

从反馈的结果可以看出，国内的高压电缆缓冲层结构主要是以纵向阻水型为主，大部分厂家基本是 100%采用纵向阻水型结构。各厂家的纵向阻水型电缆其缓冲层结构有所不同，有些用半导电阻水带+半导电缓冲阻水带组合，有些只用半导电缓冲阻水带，绕包工艺包括双层搭盖绕包、三层或四层间隙绕包，不少企业采用标称厚度为 2.0mm 缓冲带双层 50%搭盖绕包，即等效近似厚度为 8.0mm。

5 国外阻水型电缆的概况

日本是较早生产和使用皱纹铝套电缆的国家，据了解，除用于出口时在客户特殊要求条件下，大多是不申明纵向阻水功能的，即不采用阻水型半导电带，电缆皱纹铝套内还有金属丝布，利用铜丝来改善绝缘半导电层与铝护套之间的接触。

欧洲的高压电缆基本不采用皱纹铝套结构，典型的结构包括平铝套电缆、铅套电缆、铝塑复合套电缆等，对于纵向阻水要求的结构，其金属套内采用半导电阻水带。

6 纵向阻水高压电缆选型的必要性调查

在此要强调，目前所有的典型高压电缆结构，无论是皱纹铝套结构、平铝套结构，还是铝塑复合套等结构，都是金属套密封型结构，都具备径向阻水的功能，也就是说在不遭到破坏的情况下，即使有水的环境也不影响电缆正常使用。

理论上讲，纵向阻水型高压电缆在遭到故障破坏时，由于具备纵向阻水功能，相对来讲是可以减少更换电缆的长度，对此专门向北京、上海、广州等电网用户领域的专家进行了求证，得到答复如下：

- 1) 北方地区较为干燥，电缆隧道中大多数情况下是没有水的，隧道电缆线路也不会受到外力破坏，电缆故障率很低，电缆故障后进水的案例极少，国网北京市电力公司近十年来没有发生因为电缆铝套受损导致的进水情况。
- 2) 上海的高压电缆主要在排管里面，一些排管中会有水，但是证实电缆铝套内进水的情况很少，出现过抢修时发现电缆故障处进水的情况，通常的处理方式是在临近的

工井处切断检查并做接头处理。

- 3) 广东地区电缆浸泡在水中较为常见, 相对来讲电缆接头是防水的薄弱环节, 水从接头保护盒处流进电缆铝套内的情况较为常见, 无论是从接头保护盒处还是电缆遭到破坏进水, 纵向阻水型电缆虽有一定的阻水功能, 但难免有潮气会进入其中, 最终还是可能会导致阻水粉析出而形成隐患。

7 小结

高压电缆缓冲层烧蚀所引起的故障已经给电缆用户和制造企业都造成严重损失, 且长期运行隐患不能排除, 尽管一些单位和专家做了些努力, 提出了一些改进措施, 比如控制和降低半导体缓冲带的体积电阻率、控制金属套内的间隙尺寸、改进生产线使阻水带绕包和金属套工序串联以避免阻水带受潮等措施。但是上述措施也无法彻底解决皱纹铝套电缆结构中可能存在的缓冲层烧蚀问题, 本文从电缆选型是否需要阻水性能的角度做了一些总结和建议:

- 1) 高压电缆的阻水性能分为径向阻水和纵向阻水两种。应根据实际需求进行选型。一般情况下对于运行环境不是直接浸泡在水中的情况推荐选择型号为 YJLW03 或 YJLW02 的径向阻水型电缆, 而不需要选择型号为 YJLW03—Z 或 YJLW02—Z 的纵向阻水型电缆。
- 2) 制造企业对径向阻水型电缆和纵向阻水型电缆在缓冲层结构上应有所区分, 前者中不选用含阻水粉的带材, 且对用户做好解释和引导工作。另外, 绕包带材层数和厚度对载流量的影响不容忽视。
- 3) 即便是选择纵向阻水型电缆, 由于电缆导体基本是不具备阻水功能, 在故障时, 水是很有可能从故障处通过导体流入, 这种情况下金属套内的纵向阻水功能也就没有意义了, 因此慎用纵向阻水型电缆。
- 4) 推进包括铝塑复合套在内的其他金属套类型电缆的设计、研发工作、标准化等工作、扩大平铝套推广应用, 积累运行经验, 力争将来国内有多种以上形式的电缆金属套结构并存, 为用户提供更多的选择。
- 5) 阻水方面, 电缆接头密封需要在现场完成, 相对而言是薄弱环节, 应重点关注。

本文中的数据 and 观点仅供各方参考, 一家之言, 不当之处请大家批评指正!

作者简介:

- 1) 范玉军, 教授级高级工程师, 上海电缆研究所国缆检测公司, 长期从事电缆检测、标准制修订等工作。
- 2) 李华春, 教授级高级工程师, 北京市电力公司设备部, 长期从事电缆运维、科研等工作。