

# 35kV 高压电缆在线局放监测的应用

张荣荣 张双双 白鹏飞

(陕西延长中煤榆林能源化工股份有限公司)

**摘要：**高压电力电缆随运行时间加长，出现老化、电缆头屏蔽层部分绝缘破损、电缆内局部的屏蔽层断裂等问题导致发生局部放电现象时常发生，特别是35kV及以上高压电缆因供电系统需求或现场拆装不便等因素，对高压电缆进行停电后预防性试验相对困难，因此对于化工厂35kV及以上高压电缆在线局放检测尤为重要，提前发现电缆故障隐患，及时处理，确保电力系统的可靠运行。

**关键词：**局部放电；在线监测

## 1 榆能化 35kV 电缆运行情况

榆能化公司 35kV 电缆有 31 个回路，其中有 23 个回路为 3 根单芯 35kV 铠装电缆，另外 8 回路为 3×2 单芯 35kV 铠装电缆。所有的电缆均从 110kV 站 35kV 开关柜至 35kV 厂用变，单根电缆的长度约为 1.2~2.0km，且每回电缆没有中间电缆头拼接。目前榆能化公司已使用的电缆监测技术有光纤测温（3 芯共用 1 根）、接地环流和视频监控。

35kV 电缆采取人工定期巡检和在线监测，通过定期巡检的数据与在线监测的数据对比、分析，再进一步地判定电缆运行工况。人工记录、分析数据因受限于技术的应用和工作的惯性思维，存在问题挖掘不充分的现象，35kV 电力电缆仍有发生故障的可能。

## 2 高压电缆局部放电分析

电缆“局部放电”是较为常见的一种电缆问

题，所谓“局部放电”是指在电场作用下，绝缘中只有部分区域发生放电而并没有形成贯穿性放电通道的一种放电<sup>[1]</sup>。产生局部放电的主要原因是电介质不均匀，绝缘体各区域承受的电场强度不均匀，在某些区域电场强度达到击穿场强而发生放电，而其他区域仍然保持绝缘的特性。

### 2.1 局部放电的成因

电缆在生产制造过程中若绝缘混入金属杂质、出现气孔空洞，或由于内、外半导体层不规则突起引起高压场强的不均匀，或绝缘中存在的电树等，在这些部位都有可能出现局部放电，因为空气的介电常数比绝缘材料的介电常数小，即使绝缘材料在不太高的电场作用下，气隙气泡部位的场强也会很高，当场强达到一定值后就会发生局部放电<sup>[2]</sup>。

从局部放电发生的位置、放电过程和现象来看，局部放电可以分为三种类型：内部放电、表面

放电和电晕放电。

### 2.2 局部放电的危害

局部放电对电缆的绝缘结构起着一定侵蚀作用，它对绝缘的破坏机理有以下几个方面：

1) 带电粒子（电子、离子等）冲击绝缘，破坏其分子结构，如纤维碎裂，因而绝缘受到损伤；

2) 由于带电离子的撞击作用，使该绝缘出现局部温度升高，从而引起绝缘过热，严重时就会出现碳化、烧毁等；

3) 局部放电产生的臭氧及氮的氧化物会侵蚀绝缘层，当遇有水分则产生硝酸，对绝缘的侵蚀更为剧烈；

4) 在局部放电时，油因电解及电极的肖特基辐射效应使油分解，加上油中原来存的杂质，使纸层处凝集着因聚合作用生成的油泥（多在匝绝缘或其他绝缘的油楔处），油泥生成将使绝缘的介质损伤角增大，散热能力降低，甚至导致热击穿。局部放电的持续发展会使绝缘的劣化损伤逐步扩大，最终使绝缘正常寿命缩短、短时绝缘强度降低，甚至可能使整个绝缘击穿<sup>[3]</sup>。

电缆局部放电的能量很小，通常不影响电缆短期的绝缘强度，但是长期存在局部放电，会慢慢损坏绝缘，日积月累，则会导致电缆绝缘击穿，因而将会使其发生故障，若有水渗入会加快电缆的损伤度，甚至会导致电缆无法挽救直接报废。

### 2.3 电缆局部放电技术原理

通过安装在电缆接头接地线上的高频脉冲电流传感器，来耦合电缆本体里的局部放电脉冲电流信号，耦合到的脉冲信号通过同轴电缆传送到局部放电采集器，对模拟信号经过放大、模数转换后变成数字信号再传送到监测主机。工频相位互感器采用罗氏线圈耦合电缆本体的工频信号，用于同步采集器，通过光纤以太网的方式将数据发送至后台服务器，供运行人员查看电缆运行工况<sup>[4]</sup>。电缆局部放电系统结构图如图

1 所示。

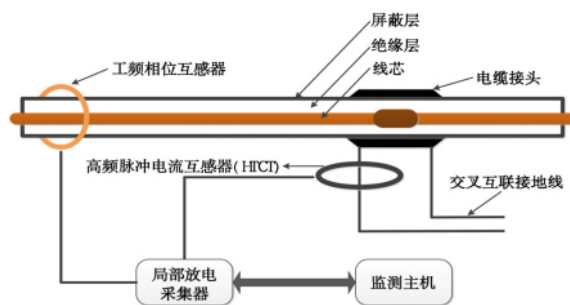


图 1 系统结构图

35kV 电缆局部放电在线监测，能实时显示各个接头及各段电缆局部放电幅值、频次、确定放电点相对位置，必要时给出报警，并能存储测试谱图、放电趋势，从而及时发现电缆或接头的绝缘缺陷，为评估其绝缘水平及老化程度提供判据，为电缆的检修工作提供依据。

榆能化采用的电缆局放在线监测设备为珠海万利达公司的设备，监测系统最小测量放电幅值为 2pC，脉冲电流传感器的频率范围为 1~100MHz。

35kV 电缆局部放电在线监测系统采用模拟滤波、脉冲分组、周期脉冲剔除、设置动态阈值、开相位窗口等综合抗干扰措施，使测试数据真实可靠。电缆在线局放检测可以实现如下功能：

- 1) 基于脉冲电流法（IEC60270 标准）的局部放电监测技术，可检测 2pC 以上局放信号；
- 2) 带通滤波技术与噪声识别及剔除算法联合运用，有效识别局放信号；
- 3) 测量系统可以监测电缆的放电幅值、相位、次数等参数，显示放电趋势图、设置报警、进行历史查询等功能；
- 4) 工频相位互感器耦合电缆本体的工频信号，使局放量采集与信号上传同步；
- 5) 采用 4G 网络通讯，实现远距离传输，稳定可靠；

6) 采用开合式钳形传感器，结构紧凑，方便拆卸安装，可以对重点回路、重点设备、异常设备进行长期监测。

### 3 榆能化高压电缆局放应用

榆能化公司 1# 总变的 35kV 电缆室安装高性能处理器，保证高速采样的同时，大幅降低了装置功耗，各台数据采集装置通过 485 总线和 MODBUS-RTU 协议组网，实现远距离传输通讯。在 1# 总变侧的 35kV 电缆安装高频脉冲电流传感器，采用钳式结构设计，外壳采用铝合金材料，外表采用氧化绝缘工艺处理，利用罗氏线圈原理，实时感应 1~100MHz 频带的信号，实现对电缆局部放电信号的耦合<sup>[5]</sup>。

1# 总变的集控室安装电缆在线局放监测主机，进行通信控制、数据收发，并对数据进行采集、分析、存储、展示等。局放监测主机实现对所有采集节点的同步采集控制、数据收发控制，实时显示系统运行状态。当系统幅值、频次、高频分量等出现异常时，系统将发出警报提醒运行人员及时作出处理。

榆能化公司为减少 1# 总变集控后台的监控电脑，在实施 35kV 在线局放监测时将现有的光纤测温、接地环流、视频监控、电机监测、电缆局放通过后台集中到一个电气智能化工业互联网平台上，实现数据联通，如图 2 所示。

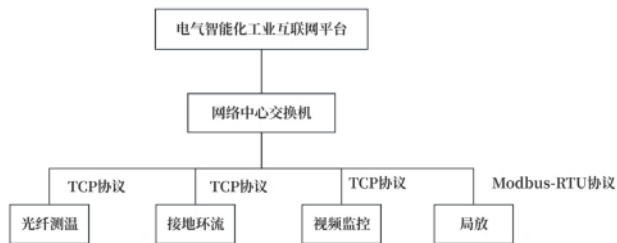


图 2 电气智能化工业互联网平台

### 4 高压电缆健康状态分析

高压电缆局放在线检测平台能实时展现每一种监测设备采集到的电缆实时数据。系统后台会根据大量的采集数据，重新设定每个监测设备的报警阈值，阈值的设置根据 35kV 电缆现场的采集数据大小综合判断，防止出现误报警现象。

局放在线检测平台针对不同的采集数据至少有 3 个报警级别，根据具体的数据分析，给出该段设备的告警提示或报警提示。局放在线检测平台具有高级的人工智能算法：专家扣分系统，该系统的扣分机制须根据相关判定标准设置，采用每种数据的重要性和劣化程度进行扣分，高压电缆的运行状态由这些采集到数据中最高级别的报警来决定。

局放在线检测平台有 2 级页面，在 2 级页面上可以显示电缆局放、电缆测温、电缆接地环流的数值及相应曲线。电缆局放可以显示单相的放电幅值、频次和历史趋势图，再通过放电图谱 PRPS 和 PRPD，分析出具体的放电类型，并随时记录局放的信息。电缆测温显示整段的电缆温度分布，将该段的实时最高温度和实时最低温度记录，并绘制出温度走向的曲线，利用人工算法会自动计算，预测未来一段时间内的温度，做到温度的预知、预判。电缆接地环流显示整段的电缆接地环流的曲线图，实时记录和显示该段的屏蔽电流大小、负载电流大小和感应电压大小，通过内部的算法，数值之间的比对，找出数值异常的地方，并做告警。

通过局放在线检测平台，将四种监测数据统一介入，进行统一监测管理，综合评估电缆的故障隐患，避免人工观看的繁琐及漏看。再结合负荷电流，关注其屏蔽环流，综合局放及温度共同判别电缆的故障隐患，温度判断故障隐患用以辅助人工判断。

### 5 结束语

榆能化公司 1# 总变电站的 35kV 电缆通过增加

# PRODVCT AND TECHNIC

|| 产品与技术 ||

电缆局放在线监测设备及平台，可以查看 35kV 电缆目前的运行状态。针对现有的在线监测设备进行集中控制，通过先进的算法，将监测数据背后的设备健康状况分析出来，优化运维工作效率，确保电缆长期安全可靠运行。

## 参考文献

[1] 皮昊书. 在线、离线检测方法在配电网电缆局部放电检测中的应用 [J]. 南方电网技术, 2010, 4 ( S1 ): 134-137.

- [2] 祝晓辉, 吕万辉, 路明, 等. 局放在线监测系统在线监测系统在电缆线路中的应用研究 [J]. 中国电业 ( 技术版 ), 2015 ( 9 ): 60-62.
- [3] 陶海波. 基于光纤测温 and 局放测的电缆在线检测系统研究 [D]. 西安: 西安理工大学, 2019.
- [4] 项建勇. 10kV 电缆线路运行监控现代化管理技术探究 [J]. 电子世界, 2017 ( 12 ): 169.
- [5] 丁峻宏, 段建国, 林佳文. 面向电力装备的工业互联网平台构架及应用 [J]. 工业控制计算机, 2023, 36 ( 10 ): 126-128, 132.

(收稿日期: 2023-11-16)